



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL 141584

**PENGARUH VARIASI KUAT ARUS TERHADAP
KETEBALAN, KEKERASAN DAN KETAHANAN
KOROSI HASIL ELEKTROPLATING NIKEL-HARD
CHROMIUM PADA BAJA AISI 4340**

KEVIN BIMARIGA
NRP. 02511440000092

Dosen Pembimbing :
Lukman Noerochiem, ST., M.Sc.Eng., Ph.D
Haniffudin Nurdiansah, ST., MT

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018



TUGAS AKHIR – TL 141584

**PENGARUH VARIASI KUAT ARUS TERHADAP
KETEBALAN, KEKERASAN DAN KETAHANAN KOROSI
HASIL ELEKTROPLATING NIKEL-HARD CHROMIUM
PADA BAJA AISI 4340**

**KEVIN BIMARIGA
NRP. 02511440000092**

**Dosen Pembimbing :
Lukman Noerochiem, ST., M.Sc.Eng., Ph.D
Haniffudin Nurdiansah, ST., MT**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TL 141584

**INFLUENCE OF CURRENT VARIATION ON HARDNESS,
THICKNESS, AND CORROSION RESISTANCE OF
NICKEL – HARD CHROMIUM ELECTROPLATED AISI
4340 ALLOY STEEL**

**KEVIN BIMARIGA
NRP. 02511440000092**

Advisors:

Lukman Noerochiem, ST., M.Sc.Eng., Ph.D

Hanifudin Nurdiansah, ST., MT

**MATERIAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2018**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGARUH VARIASI KUAT ARUS TERHADAP
KETEBALAN, KEKERASAN DAN KETAHANAN
KOROSI HASIL ELEKTROPLATING NIKEL-HARD
CHROMIUM PADA BAJA AISI 4340**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

KEVIN BIMARIGA
NRP. 02511440000092

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Lukman Noerochiem S.T, M.Sc.Eng, Ph.D. (Pembimbing I)
2. Haniffudin Nurdiansah S.T, M.T..... (Pembimbing II)



PENGARUH VARIASI KUAT ARUS TERHADAP KETEBALAN, KEKERASAN DAN KETAHANAN KOROSI HASIL ELEKTROPLATING NIKEL-HARD CHROMIUM PADA BAJA AISI 4340

Nama : Kevin Bimariga
NRP : 02511440000092
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing : Lukman Noerochim S.T, M.Sc.Eng, Ph.D
Haniffudin Nurdiansah, ST., MT.

Abstrak

Elektroplating *hard chromium* merupakan salah satu jenis metode pelapisan yang sering digunakan untuk memberikan sifat tahan korosi dan tahan aus karena sifatnya yang keras, namun banyak jenis cacat yang terjadi pada hasilnya salah satu faktor penyebabnya adalah kuat arus yang tidak optimal. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk menganalisa pengaruh kuat arus terhadap hasil pelapisan *hard chromium*. Dalam penelitian ini, sebelum pelapisan *hard chromium*, akan diberikan lapisan dasar dengan menggunakan metode elektroplating juga yaitu berupa lapisan nikel tanpa variasi dengan larutan nikel sulfat (Ni_2SO_4) sebagai elektrolitnya. Namun sebelum proses pelapisan, spesimen akan diberikan perlakuan berupa degreasing yang berupa pencelupan spesimen dalam larutan 150/g/l NaOH selama 5-15 menit dan setelah itu diberikan perlakuan pickling yang berupa pencelupan spesimen pada larutan 200g/l H_2SO_4 selama 5-10 detik. Pada proses pelapisan *hard chromium* akan diterapkan variasi kuat arus dengan variasi 0,2 A, 0,4 A, 0,6 A, dan 0,8 A dimana sumber lapisan endapan krom berasal larutan CrO_3 sebagai sumber deposit kromnya. Sampel akan diuji dengan X-Ray Diffraction (XRD) dan SEM-EDX untuk mengetahui komposisi lapisan dan SEM Cross Section untuk ketebalan lapisannya. Untuk menguji kekerasannya akan dilakukan pengujian *microhardness vickers test*, sedangkan untuk mengetahui sifat ketahanan korosinya, akan

dilakukan dengan *Tafel test* dengan media korosif HCl 0,5 M. Hasil pengujian XRD menunjukkan bahwa intensitas krom tertinggi terdapat pada sampel dengan variasi kuat arus 0,8 A dengan peak pada 2θ 44,5274°, 64,8058°, dan 82,2202°, juga pada variasi kuat arus yang sama tercapai kekerasan tertinggi sebesar 522,03 VHN, dan laju korosi terendah dengan laju 0,012318 mm/a dan juga ketebalan lapisan tertinggi dengan ketebalan 57,467 μ m

Kata Kunci : Elektroplating, *hard chromium*, korosi, CrO_3

INFLUENCE OF CURRENT VARIATION ON HARDNESS, THICKNESS, AND CORROSION RESISTANCE OF NICKEL – HARD CHROMIUM ELECTROPLATED AISI 4340 ALLOY STEEL

Name : Kevin Bimariga
NRP : 02511440000092
Department : Material & Metallurgical Engineering
Advisors : Lukman Noerochiem, ST., M.Sc.Eng, Ph.D
Haniffudin Nurdiansah, ST., MT

Abstrak

Hard chromium electroplating is one of conventional coating method to provide corrosion resistance and also wear resistance because of its hardness. But, there are many kind of defect that occur on the result that caused by various factor, one of them is bad current determination. Therefore, this research conducted to analyze the influence of current on the result of hard chromium electroplatin process. In this research, the substrate will be treated with degreasing by immersion in 150g/l NaOH 1 M solution for 5-15 minutes then treated with pickling by immersion in 200g/l H₂SO₄ for 5-10 seconds before coated with nickel undercoat. Nickel electroplating process will be done without variation before coated by hard chromium, with Na₂SO₄ solution as the electrolyte. However, in the hard chromium electroplating process, current variation will be applied, with variation 0,2 A, 0,4 A, 0,6 A, and 0,8 A with CrO₃ solution as the source of chrome deposit. The composition of the result sample will be tested by XRD (X-Ray Diffraction) and SEM-EDX while the thickness of the coating will be tested by SEM Cross Section. For the coating hardness, will be tested by Vickers microhardness test, and for the corrosion resistance behaviour will be tested by Tafel test with 0,5 M HCl as the corrosive media. The XRD test result show that highest chrome intensity can be seen on sample with current variation 0,8 A with 2 θ peak 2 θ at 44,5274°, 64,8058°, and

82,2202°, and at the same variation, the highest hardness achieved on 0,8 A variation sample with hardness value 522,03 VHN, and also the lowest corrosion rate achieved on 0,8 A with corrosion rate value 0,012318 mm/a. Likewise, the thickest coating achieved on 0,8 variation with thickness value 57,467 μ m

Keyword: *Electroplating, hard chromium, corrosion, CrO₃*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat, anugerah, serta kasih karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“PENGARUH VARIASI KUAT ARUS TERHADAP KETEBALAN, KEKERASAN DAN KETAHANAN KOROSI HASIL ELEKTROPLATING NIKEL-HARD CHROMIUM PADA BAJA AISI 4340”**. Dimana laporan tugas akhir ini dibuat untuk melengkapi Mata Kuliah Tugas Akhir yang menjadi salah satu syarat kelulusan mahasiswa di Departemen Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih pada:

1. Kedua orang tua, dan keluarga atas dukungan moriil dan materiil yang luar biasa
2. Bapak Lukman Noerochiem, S.T, M.Sc.Eng, Ph.D selaku dosen pembimbing yang dengan sabar telah memberikan bimbingan dan bantuan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini
3. Bapak Haniffudin Nurdiansah, S.T. M.T. selaku *co*-pembimbing senantiasa memberi bimbingan, arahan dan banyak saran.
4. Bapak Mas Irfan Purbawanto Hidayat, S.T, M.Sc, Ph.D selaku dosen wali yang telah membantu penulis selama masa studinya di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS
5. Dosen Tim Penguji Seminar dan Sidang Tugas Akhir serta Seluruh dosen dan staff karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS
6. Mohammad Adnan Rachmadi selaku teman seperjuangan pada topik tugas akhir ini, serta kepada seluruh teman-

teman yang membantu penulis dalam penyusunan laporan tugas akhir ini

Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xix

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Manfaat Penelitian	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Teknologi Pelapisan.....	5
2.2. Elektroplating	6
2.2.1. Definisi Elektroplating	6
2.2.2. Prinsip Kerja Elektroplating	6
2.2.3. Anoda.....	8
2.2.4. Katoda.....	8
2.2.5. Elektrolisis dan Ionisasi	9
2.2.6. Reduksi-Oksidasi Pada Katoda dan Anoda	10

2.2.7. Elektrodeposisi.....	11
2.2.8. Bahan Pelapis Pada Elektroplating.....	12
2.2.9. Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Proses Elektroplating.....	15
2.2.10. Kerapatan Arus (<i>Current Density</i>)	19
2.2.11. Massa Endapan Pada Katoda	20
2.2.12. Ketebalan Deposit	20
2.2.13. Efisiensi Plating	21
2.2.14. Larutan Elektroplating.....	23
2.2.15. Kelekatan Logam Pelapis pada Substrat.....	24
2.2.16. Chromium Plating.....	25
2.3. Preparasi Permukaan Sebelum Elektroplating.....	26
2.3.1 Surface Cleaning.....	26
2.3.2 Rinsing.....	27
2.4 Korosi.....	28
2.5 Baja AISI 4340.....	29
2.6 <i>State of the Art</i> (Penelitian Sebelumnya).....	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Diagram Alir Penelitian	31
3.2. Bahan Penelitian	32
3.3. Alat Penelitian	33
3.4. Metode Penelitian	34
3.4.1. Preparasi Permukaan Spesimen.....	34
3.4.2. Proses Pelapisan Nikel	34
3.4.3. Proses Pelapisan <i>Hard Chrome</i>	35
3.5. Pengujian	35

3.5.1. XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>).....	35
3.5.2. <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) & EDX...	36
3.5.3. Pengujian Kekerasan Mikro.....	37
3.5.4. Pengujian Laju Korosi Tafel.....	38
 BAB IV PEMBAHASAN	
4.1. Analisa Kekerasan Lapisan	41
4.2. Analisa XRD	42
4.3. Analisa Laju Korosi	44
4.4. Analisa Ketebalan dan Morfologi Lapisan	45
4.5. Analisa Komposisi Lapisan.....	48
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	49
5.2. Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA.....	xxi
LAMPIRAN	xxv
BIODATA PENULIS	xxxvii

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema Proses Elektroplating	7
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	31
Gambar 3.2	Diagram Alir Penelitian	32
Gambar 3.3	Larutan Watt's Nikel	35
Gambar 3.4	Larutan Krom Trioksida.....	35
Gambar 3.5	Alat Uji XRD	36
Gambar 3.6	Mekanisme Kerja Alat SEM	37
Gambar 3.7	Alat Uji Microhardness	38
Gambar 4.1	Grafik Nilai Kekerasan Terhadap Arus	41
Gambar 4.2	Grafik Pengujian XRD	42
Gambar 4.3	Hasil Pengujian Tafel	44
Gambar 4.4	Hasil SEM Morfologi Permukaan Lapisan <i>Hard Chromium</i> Perbesaran 2.500x (a) 0,2 Ampere, (b) 0,4 Ampere, (c) 0,6 Ampere, (d) 0,8 Ampere.....	45
Gambar 4.5	Hasil SEM Morfologi Permukaan Lapisan <i>Hard Chromium</i> Perbesaran 10.000x (a) 0,2 Ampere, (b) 0,4 Ampere, (c) 0,6 Ampere, (d) 0,8 Ampere.....	46
Gambar 4.6	Hasil SEM <i>Cross Section</i> Lapisan <i>Hard Chromium</i> Perbesaran 1000x (a) 0,2 Ampere, (b) 0,4 Ampere, (c) 0,6 Ampere, (d) 0,8 Ampere	47

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis-jenis Proses Pelapisan	5
Tabel 2.2 Nilai Deret Volta.....	15
Tabel 2.3 Tabel Komposisi Baja AISI 4340.....	30
Tabel 4.1 Tabel Laju Korosi	44
Tabel 4.2 Tabel Komposisi Lapisan	48

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Logam merupakan salah satu material yang dekat dengan kehidupan manusia, salah satu logam yang sering digunakan manusia berupa baja karbon . Baja karbon adalah suatu bahan yang memiliki unsur utama berupa besi dan karbon, serta unsur pendukung berupa Si, P, S dan Mn. Baja karbon banyak digunakan untuk bahan roda gigi, mur, baut, rangka kendaraan dan juga pada perkapalan. Parameter mutu baja yang diinginkan manusia tidak hanya diukur dari tingkat kekerasan dan kekuatan saja, namun dibutuhkan pula umur pakai yang lama

Salah satu faktor yang mempercepat pengurangan umur pakai suatu material, khususnya baja karbon adalah korosi. Dalam dunia industri, perlindungan terhadap korosi dengan cara memperlambat timbulnya korosi pada material merupakan suatu hal yang penting untuk dilakukan. Terdapat berbagai usaha yang sering dilakukan untuk memperlambat timbulnya korosi, salah satunya adalah dengan cara pelapisan (*coating*). Salah satu jenis pelapisan yang banyak digunakan adalah dengan cara elektroplating

Elektroplating merupakan proses pelapisan dengan merendam material yang akan dilapisi dalam suatu larutan elektrolit tertentu dengan bantuan arus listrik searah (DC) sehingga terjadi pemindahan partikel logam pelapis ke material yang hendak dilapis. Material pelapis berasal dari ion-ion yang ada pada elektrolit, namun terkadang ada juga yang material pelapisnya berasal dari anodanya. Pada dasarnya prinsip kerja dari metode pelapisan ini dengan mengalirkan arus DC melalui sebuah penghantar yang dihubungkan dengan anoda dan katoda, keduanya dibenamkan ke dalam suatu larutan elektrolit.

Pada prosesnya, ion dari anoda akan terlepas dan melapisi katoda, sehingga lapisan luar katoda akan terlapisi dengan ion-ion anodanya (Irwanto, 2010). Salah satu jenis elektroplating yang



banyak digunakan adalah electroplating hard chromium, selain dapat melindungi permukaan baja, juga dapat meningkatkan kekerasan permukaan dan sifat tahan aus dari suatu material baja. Oleh karena itu *hard chromium* cukup banyak dijumpai sebagai material pelapis dari komponen-komponen mesin otomotif dan industri.

Namun, hasil pelapisan elektroplating *hard chromium* cukup sering dijumpai *microcrack* atau juga *porosity* yang dapat berakibat timbulnya *pitting corrosion* (Shreir, 1993). Oleh karena itu pemberian *undercoat* yang biasanya berupa lapisan nikel diperlukan untuk meningkatkan ketahanan korosi, sehingga senyawa-senyawa korosif tidak langsung menyerang substrat. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan pemberian lapisan dasar nikel sebelum dilakukannya proses elektroplating hard chromium.

I.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi kuat arus terhadap ketebalan, kekerasan dan ketahanan korosi hasil elektroplating *hard chromium* ?
2. Bagaimana mekanisme penentuan kuat arus yang optimal pada proses elektroplating *hard chromium* ?

I.3 Batasan Masalah

1. Temperatur larutan elektrolit diasumsikan konstan
2. Konsentrasi larutan elektrolit diasumsikan tetap
3. Hasil pelapisan diasumsikan homogen pada setiap bagian permukaan spesimen
4. Unsur pengotor diasumsikan tidak ada dalam larutan elektrolit
5. Jarak antara anoda terhadap katoda diasumsikan tetap

I.4 Tujuan Penelitian

1. Menganalisa pengaruh variasi kuat arus terhadap ketebalan, kekerasan dan ketahanan korosi hasil elektroplating *hard chromium*



2. Menganalisa kuat arus yang optimal pada proses elektroplating *hard chromium*

I.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah untuk menemukan nilai kuat arus yang optimal dalam proses elektroplating *hard chromium*.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teknologi Pelapisan (*Coating*)

Aplikasi dari *coating* organik, inorganik dan metalik tidak hanya melindungi benda dari serangan lingkungan yang korosif pada bagian permukaan saja untuk memperpanjang umur pakai suatu benda kerja, melainkan keseluruhan benda kerja. Penggunaan material pelapis yang lebih sedikit atau lebih murah, digabungkan dengan penghematan energi, akan menghasilkan konsekuensi ekonomi yang baik dan penghematan dalam hal teknologi pelapisan. Proses *coating* yang ditunjukkan pada tabel 2.1 di bawah mengilustrasikan keberagaman proses *coating* yang tersedia secara komersial.

Tabel 2.1 Jenis-jenis Proses Pelapisan

Process	Process Variants
Evaporation	Chemical Vapour Deposition (CVD)
	Physical Vapour Deposition (PVD)
	Sputtering
Hot Metal Process	Weld-surfacing
	Hot-dip Galvanizing
	Roll-coating
Painting	Application of Inoraganic Coatings
	Application of Organic Coatings
	Appilcation of low-friction Coatings
Thermal Spraying	Atmospheric-pressure Plasma Spraying
	Low-pressure Plasma Spraying
	Flame Spraying
Metallizing	Electroless Metal Coatings
	Electroplated Metal Coatings

(Furqon, 2015)



Apapun teknik *coating* yang digunakan, selalu diperlakukan *pretreatment* dan pembersihan permukaan yang sesuai untuk memaksimalkan kualitas hasil *coating*. (Furqon, 2015)

2.2 Elektroplating

2.1.1 Definisi Elektroplating

Menurut Purwanto (2005), elektroplating merupakan peristiwa perpindahan ion logam yang mengendap pada benda padat konduktif membentuk lapisan logam yang dibantu dengan arus listrik melalui elektrolit. Lapisan yang mengendap disebut deposit. Proses pengendapan pada katoda dikarenakan adanya perpindahan ion-ion secara terus-menerus menggunakan tegangan yang konstan, akhirnya ion-ion tersebut mengendap dan menempel kuat membentuk suatu lapisan permukaan (Paridawati, 2013).

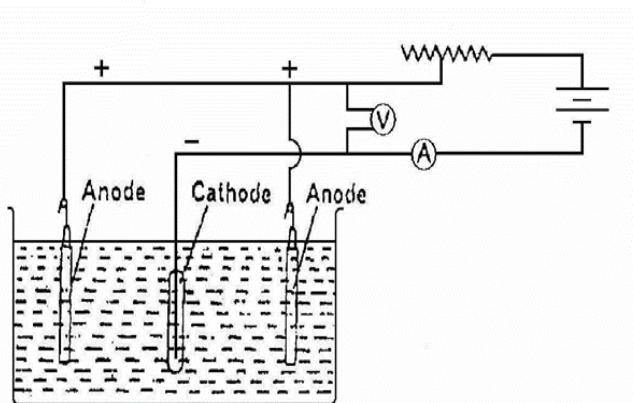
Pada teknologi pegerjaan logam, elektroplating digunakan sebagai proses *finishing* atau pengerjaan akhir suatu logam. Namun, selain memberikan tampilan yang lebih menarik elektroplating memberikan manfaat lain bagi logam yaitu dapat menambah kekerasan dan ketahanan aus logam, mencegah timbulnya korosi, serta menambah ketebalan logam (Supriadi, 2010). Metode elektroplating memiliki banyak keunggulan, dengan teknik yang menarik, sederhana, serta murah, selain itu banyak material yang dapat dilakukan elektroplating seperti logam, logam paduan, dan semi-konduktor dengan ketebalan yang diendapkan tidak memiliki batas maksimal (El-Giar *et al*, 2000).

2.1.2 Prinsip Kerja *Electroplating*

Elektroplating adalah suatu proses elektrodposisi untuk memproduksi suatu pelapisan yang padat, homogen dan dapat melekat dengan baik, biasanya digunakan pada logam atau paduan, pada permukaan benda kerja dengan memanfaatkan arus listrik. Apabila suatu potensial diberikan ke dalam sel itu



sehingga komponen menjadi katoda dan batangan atau lempengan logam penyalut menjadi anoda, ion-ion logam penyalut dari larutan akan mengendap ke permukaan komponen sementara dari anoda ion-ion juga terus terlarut seperti terlihat dalam gambar 2.1. Dalam metode ini kita mengenal istilah *throwing power* yang diartikan dengan kemampuan logam penyalut untuk menghasilkan ketebalan merata sejalan dengan terus berubahnya panjang lintasan antara anoda dan permukaan komponen selama pelapisan.



Gambar 2.1 Skema Proses Elektroplating
(The Canning Handbook on Electroplating, 1978)

Pada elektroplating terdapat empat komponen utama, yaitu sebagai berikut :

- Sirkuit Eksternal, terdiri dari sebuah sumber arus searah (DC), yang akan menyalurkan arus listrik menuju tangki *plating* dan menghubungkan beberapa instrumen seperti ammeter, voltmeter dan berfungsi untuk mengatur voltase dan kuat arus
- Katoda, merupakan kutub negatif dimana pada katoda terjadi reaksi reduksi dan menerima elektron dari sirkuit luar



- c. Anoda, merupakan kutub positif, dimana pada anoda terjadi reaksi oksidasi dan melepaskan elektron keluar sirkuit
- d. Larutan *plating*, yang umumnya berbentuk cairan dan juga biasa disebut sebagai “*bath*”

2.1.3 Anoda

Anoda merupakan terminal positif yang dihubungkan dengan kutub positif dari sumber listrik searah (*Direct Current*), sedangkan katoda yang merupakan terminal negatif dihubungkan dengan elektroda negatif dari sumber listrik searah. Anoda yang sering digunakan dalam proses electroplating ada dua macam yaitu anoda yang dapat larut dan anoda yang tidak dapat larut. Maksud anoda yang dapat larut adalah anoda yang selama proses memberikan ion-ion logamnya kepada katoda. Sehingga anoda jenis ini makin lama makin habis terkikis. Contoh anoda jenis ini adalah tembaga (Cu), seng (Zn), nikel (Ni), timah putih (Sn), perak (Ag), dll. Penggunaan anoda jenis ini mempunyai keuntungan yaitu membantu pengoperasian dalam menjaga konsentrasi larutan agar tetap dalam batas yang diinginkan secara otomatis. Akan tetapi anoda jenis ini mempunyai kelemahan yaitu dalam jangka waktu yang relatif panjang akan menghasilkan kotoran dan memerlukan pengontrolan kondisi apakah anoda masih berfungsi dengan baik untuk pengoperasian.

Sedangkan anoda yang tidak dapat larut adalah anoda yang selama proses tidak terkikis. Contoh anoda jenis ini adalah karbon (C), platina (Pt), timah hitam (Pb), dll. Penggunaan anoda jenis ini tidak membutuhkan pengontrolan kondisi anoda secara khusus.

2.1.4 Katoda

Katoda adalah logam yang akan dilapisi. Material yang akan dilapisi (katoda) harus bersifat konduktif atau dapat menghantarkan listrik. Logam-logam dapat disusun dalam suatu



deret menurut kenaikan potensial elektrodanya yang disebut Deret Volta yaitu :

K Ba Ca Na Mg Al Mn Zn Cr Fe Ni Sn Pb H Cu Hg Ag Pt Au

Semakin kekiri posisi logam dalam deret volta potensial elektrodanya makin kecil. Makin kecil potensial elektrode suatu logam makin mudah logam itu mengalami oksidasi, sebaliknya makin besar potensial elektrode suatu logam makin mudah logam itu mengalami reduksi. Dalam suatu reaksi elektrokimia potensial elektrode didapatkan dari potensial reduksi dikurangi potensial oksidasi.

2.1.5 Elektrolisis dan Ionisasi

Jika arus listrik dihubungkan pada larutan *Sodium chloride* maka larutan tersebut akan dapat menghantarkan arus listrik dan kemudian larutan akan terurai menghasilkan endapan pada katoda. Larutan yang dapat menghantarkan listrik disebut larutan elektrolit sedang proses penguraian ion-ion dari larutan tersebut disebut ionisasi. Proses ionisasi yang diakibatkan oleh adanya arus listrik tersebut dinamakan proses elektrolisis.

Contoh larutan elektrolit ialah :

- Asam : H_2SO_4 , HCl , HNO_3
- Basa : NaOH , $\text{Ba}(\text{OH})_2$, KOH
- NaCl , CuSO_4 , Na_2SO_4

Contoh ionisasi dari larutan elektrolit adalah sebagai berikut:

- $\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ (2.1)
- $\text{HCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$ (2.2)
- $\text{CuSO}_4 \rightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$ (2.3)

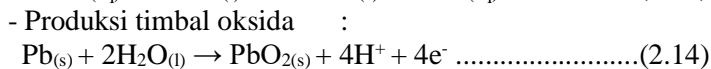
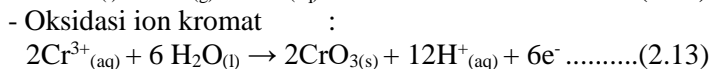
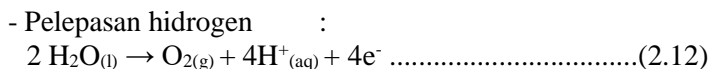
Dimana ion-ion H^+ , Na^+ , Cu^{2+} merupakan ion positif atau disebut kation, sedangkan Cl^- , $(\text{SO}_4)^{2-}$, merupakan ion negatif atau disebut anion. Proses *electroplating* dilakukan pada suatu larutan



elektrolit yang mengandung senyawa logam. Dalam larutan elektrolit ini, ion logam yang bermuatan positif menuju material yang bermuatan negatif, kemudian ion logam akan tereduksi menjadi logam baru dan mengendap di katoda membentuk lapisan logam (deposit). Dapat dikatakan, anoda merupakan bahan baku pelapis, sedangkan katoda merupakan material yang akan dilapisi (Supriadi, 2010).

2.1.6 Reduksi-Oksidasi Pada Anoda dan Katoda

1. Pada proses elektroplating nikel dengan menggunakan larutan Watt's bath, reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :
 - a. Reaksi reduksi elektroplating nikel pada katoda :
 - Pengendapan ion Nikel :
$$\text{Ni}^{2+}_{(\text{aq})} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ni}_{(\text{s})} \dots\dots\dots(2.4)$$
 - Pelepasan gas hidrogen :
$$2\text{H}^{+}_{(\text{aq})} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_{2(\text{g})} \dots\dots\dots(2.5)$$
 - b. Reaksi oksidasi elektroplating nikel pada anoda :
 - Pembentukan ion nikel :
$$\text{Ni}_{(\text{s})} \rightarrow \text{Ni}^{2+}_{(\text{aq})} + 2\text{e}^- \dots\dots\dots(2.6)$$
 - Oksidasi Hidroksil :
$$4\text{OH}^{-}_{(\text{aq})} \rightarrow \text{O}_{2(\text{g})} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} + 4\text{e}^- \dots\dots\dots(2.7)$$
 - Oksidasi Ion Klorin :
$$2\text{Cl}^{-}_{(\text{aq})} \rightarrow \text{Cl}_{2(\text{g})} + 2\text{e}^- \dots\dots\dots(2.8)$$
2. Pada Proses elektroplating *hard chromium* dengan menggunakan larutan *chrome sulfate*, reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :
 - a. Reaksi reduksi elektroplating *hard chromium* pada katoda:
 - Pembentukan Chromium :
$$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}_{(\text{aq})} + 14 \text{H}^{+}_{(\text{aq})} + 6\text{e}^- \rightarrow 2\text{Cr}^{3+}_{(\text{aq})} + 7\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} \dots\dots\dots(2.9)$$
 - Pelepasan gas hidrogen :
$$2\text{H}^{+}_{(\text{aq})} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_{2(\text{g})} \dots\dots\dots(2.10)$$
 - Pengendapan Chromium :
$$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}_{(\text{aq})} + 14 \text{H}^{+}_{(\text{aq})} + 12\text{e}^- \rightarrow 2\text{Cr}_{(\text{aq})} + 7\text{H}_2\text{O}_{(\text{g})} \dots\dots\dots(2.11)$$
 - b. Reaksi oksidasi elektroplating *hard chromium* pada anoda :



2.1.7 Elektrodeposisi

Elektrodeposisi mengarah kepada proses pertumbuhan film yang terdiri dalam formasi dari *coating* metalik terhadap material yang terjadi melalui proses reduksi elektrokimia ion logam yang berasal dari elektrolit. Teknologi yang berhubungan dengan hal ini biasa disebut dengan istilah elektroplating. Disamping produksi *coating* metalik, reduksi elektrokimia logam juga digunakan untuk ekstraksi logam yang dimulai dari *ore* (*electrometallurgy*) atau untuk proses reproduksi mold untuk membentuk objek secara langsung menjadi bentuk akhir mereka (*electroforming*). Dalam banyak kasus, deposit metalik yang dihasilkan berupa kristalin; proses ini dapat juga disebut *electrocrystallization*.

Proses elektrodeposisi terdiri oleh imersi dari objek yang akan di *coating* dalam wadah yang mengandung elektrolit dan elektroda, diikuti dengan hubungan dari dua elektroda kepada sumber listrik untuk membuat aliran arus. Objek yang akan dilapisi dihubungkan kepada kutub negatif dari sumber listrik, kemudian ion logam akan tereduksi menjadi atom logam yang akan membentuk deposit pada permukaan spesimen.

Telah diketahui secara umum dalam ilmu material bahwa paduan dapat meningkatkan kualitas yang tidak teroptimalkan dari material dasar. Hal ini secara khusus benar untuk paduan yang dielektrodeposisikan. Beberapa sifat penting material seperti, kekerasan, keuletan, kekuatan tarik, modulus Young, ketahanan korosi, *solderability*, ketahanan aus dan ketahanan gesek mungkin saja untuk ditingkatkan. Pada saat yang sama beberapa sifat yang bukan merupakan karakteristik logam dasar seperti *high magnetic*



permeability, sifat magnetik dan elektrik lain, struktur amorf dan lainnya, dapat juga dihasilkan.

2.1.8 Bahan Pelapis Pada Elektroplating

Pada elektroplating bahan-bahan yang digunakan sebagai pelapis diantaranya adalah:

1. Nikel

Nikel merupakan bahan yang bersifat *ferromagnetic*, namun ketika di atas 352 °C bersifat *paramagnetic*. Nikel memiliki kekuatan dan kekerasan sedang, dengan keliatan dan keuletan yang baik serta daya hantar listrik dan termal yang baik. Pada elektroplating, nikel biasanya digunakan sebagai katalis. Nikel merupakan pelapis logam yang sangat peka responnya terhadap aditif-aditif bak *plating* (Hartono, 1995).

Nikel merupakan logam yang banyak digunakan dalam industri pelapisan logam. Nikel mempunyai sifat tahan terhadap korosi, memiliki kekuatan dan kekerasan yang cukup baik, serta memiliki daya hantar listrik yang baik. Pada proses pelapisan nikel dengan listrik. Pada proses pelapisan nikel dengan listrik, arus searah yang digunakan selain untuk menguraikan ion nikel, juga dimanfaatkan untuk pelepasan ion yang ada didalam larutan sewaktu proses reduksi oksida berlangsung.

Dalam keadaan normal, efisiensi penguraian ion nikel mencapai satu persen, tetapi bila pH tinggi akan terjadi pelepasan ion hidroksil, sehingga kelarutan nikel dan oksigen akan terikat pada anoda nikel dan anoda nikel pasif, untuk itu kondisi operasi pelapisan harus benar-benar terkontrol. Hasil lapisan ini tergantung pada aspek seperti pH, rapat arus, temperatur, dan pengadukan/agitasi.

Pada penelitian ini, jenis larutan yang akan digunakan adalah *Watt's bath*. Larutan *watt's* merupakan larutan standar untuk pelapisan nikel. Nikel sulfat dijadikan sumber utama



ion nikel untuk diendapkan, karena garam nikel mudah larut dalam air, mudah didapat dan tidak menghasilkan ion kompleks, dan murah.

Dalam larutan nikel aktivitas ion ion nikel-nikel tergantung pada konsentrasi unsur lain yang terdapat didalam larutan. Ion-ion *chloride* berfungsi mempercepat pengkorosian anoda nikel dan meningkatkan koefisien difusi ion-ion nikel, sehingga dapat memudahkan pengendapan nikel. Asam boric (*boric acid*) digunakan sebagai pengatur/penyangga (*buffer*) yaitu untuk menjaga agar derajat keasamaan pH larutan tetap pada nilai empat, karena pada proses pelapisan nikel sangat baik dilakukan pada $pH = 4 - 5,2$.

2. Krom

Krom merupakan lapisan yang memiliki sifat yang keras, dengan warna putih kebiru-biruan, dan tahan terhadap efek kekusaman yang tinggi, dikarenakan hal tersebut pelapisan krom sangat diminati untuk penampilan logam yang lebih menarik. Selain itu pelapisan ini juga dapat menjadikan hasil pelapisan yang keras. Pada pelapisan krom, ion-ion krom yang disuplai sebagai pelapis hanya yang berasal dari ion-ion yang berada dalam larutan, tidak dari anoda, karena anoda pada proses pelapisan krom bersifat tidak larut (*unsoluble anode*). Hal ini dikarenakan tidak adanya krom yang berbentuk padatan murni dan anoda harus tahan korosi terhadap larutan krom yang korosif.

Pelapisan krom keras (*hard chromium*) adalah proses pelapisan krom dimana krom diendapkan secara langsung pada logam dasar. Pelapisan krom keras dilakukan karena memanfaatkan sifat-sifat krom dalam rangka mendapatkan keuntungan terutama terhadap sifat tahan panas, korosi, erosi, dan koefisien gesek rendah oleh karenanya pelapisan krom banyak digunakan untuk pelapisan pada produk-produk engineering seperti komponen-komponen kendaraan bermotor, komponen mesin tekstil, dan sebagainya.



Pada lapisan krom tahan pada temperature yang tinggi, apabila lapisan tersebut beroperasi pada lingkungan dengan temperatur lebih dari 400 °C ini dapat mempengaruhi kekerasan lapisan. Pada temperatur lebih dari 400 °C lapisan kekerasan mulai menurun. Dalam keadaan operasi pelapisan normal, kekerasan lapisan dihasilkan mencapai 800-1000 HV (65-70 Rc), oleh karenanya proses pelapisan pada *hard chromium* ini sangat baik apabila mendapatkan permukaan yang keras, tahan gesekan, goresan, dan abrasi.

Pada pelapisan *hard chromium* hal yang harus diperhatikan ialah perbedaan pada temperatur . larutan dan benda kerja. Temperatur benda kerja sewaktu akan dilapisi sebaiknya sama pada temperatur permukaan benda kerja, bila tidak akan terbentuk gas hidrogen pada permukaan benda kerja yang mengakibatkan cacat *hydrogen embrittlement* (penggetasan hidrogen). Pada proses pelapisan *hard chromium*, rapat arus, temperatur, pH larutan sangat menentukan kecepatan lapisan, makin tinggi rapat arus makin tinggi pula kecepatan lapisan, tetapi tidak boleh terlalu tinggi karena akan menyebabkan lapisan terbakar.

Pada temperatur larutan , makin rendah temperatur larutan, maka makin rendah kecepatan pelapisan, sebaliknya makin tinggi temperatur larutan, makin tinggi kecepatan pelapisan dan lapisan akan mengilap. Pada derajat keasaman (pH) larutan hard krom sangat tinggi tergantung konsentrasi *chromic acid*, makin tinggi konsentrasi *chromic acid*, makin tinggi pula pH-nya. Namun pada pelapisan *hard chromium* adhesinya rendah sehingga harus melalui lapisan dasar seperti tembaga dan nikel(Saleh, 2014).

Logam yang digunakan sebagai bahan pelapis elektroplating dalam perlindungan korosi adalah logam yang lebih aktif dibandingkan baja. Hal ini dapat kita lihat dari potensial reduksi logam yang terdapat pada Tabel 2.2 berikut ini:



Tabel 2.2 Nilai deret Volta (Silberberg, 2000).

Reaksi Reduksi	Logam	E°(volt)
$\text{Li}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Li}$	Li	-3,04
$\text{K}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{K}$	K	- 2,92
$\text{Ca}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ca}$	Ca	-2,87
$\text{Na}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Na}$	Na	-2,71
$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mg}$	Mg	-2,37
$\text{Be}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Be}$	Be	-1,85
$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Al}$	Al	-1,66
$\text{Mn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}$	Mn	-1,18
$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}$	Zn	-0,76
$\text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Cr}$	Cr	-0,74
$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}$	Fe	-0,44
$\text{Cd}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cd}$	Cd	-0,40
$\text{Co}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Co}$	Co	-0,28
$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ni}$	Ni	-0,25
$\text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}$	Sn	-0,14
$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb}$	Pb	-0,13
$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$	H_2	0,00
$\text{Sb}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Sb}$	Sb	+0,10
$\text{Sn}^{4+} + 4\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}$	Sn	+0,13
$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$	Cu	+0,34
$\text{Hg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Hg}$	Hg	+0,62
$\text{Fe}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}$	Fe	+0,77
$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}$	Ag	+0,80
$\text{Pt}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pt}$	Pt	+1,50
$\text{Au}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Au}$	Au	+1,52
$\text{Co}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Co}$	Co	+1,82



2.1.9 Faktor-faktor yang mempengaruhi proses electroplating

Berikut ini merupakan beberapa faktor yang berpengaruh terhadap hasil dari proses elektroplating :

1. Konsentrasi Elektrolit

Elektrolit terdiri dari dua komponen, yakni komponen utama yang berupa senyawa logam yang akan melapisi katoda dalam bentuk garam terlarut, serta asam atau basa yang berfungsi untuk meningkatkan konduktivitas atau daya listrik. Selama proses elektroplating berlangsung setimbang, maka konsentrasi elektrolit akan tetap terjaga. Akan tetapi pada prakteknya terjadi perubahan konsentrasi yang dikarenakan adanya penguapan dan ketidakseimbangan proses yang mengakibatkan mengendapnya ion logam elektrolit ke katoda. Pada umumnya konsentrasi logam yang terlalu tinggi pada elektrolit akan mengakibatkan menurunnya kekilapan dan ketidakteraturan permukaan lapisan. Sementara jika kadar logam dalam elektrolit terlalu rendah akan menyebabkan proses berjalan lambat.

2. Sirkulasi Elektrolit

Distribusi ion-ion di dalam elektrolit seringkali tidak merata yang disebabkan adanya kelebihan ion negatif di sekitar katoda, sedangkan di sekitar anoda sering terjadi kelebihan ion positif. Untuk pemerataan distribusi ion-ion baik positif maupun negatif di dalam elektrolit diperlukan sirkulasi elektrolit sehingga terjadinya polarisasi dapat dihindari. Sirkulasi elektrolit dapat dilakukan dengan menggunakan pompa atau dengan hembusan udara dari *blower* melalui pipa-pipa yang dipasang di dasar dan tepi tangki.

3. Rapat Arus

Berdasarkan hukum Faraday, banyaknya endapan sebanding dengan kuat arus. Akan tetapi kenyataan berbicara sedikit berbeda, di mana besaran yang diperlukan dalam proses elektroplating adalah rapat arus, yaitu arus per satuan luas, yang dinyatakan dalam Amper/dm² (A/dm²). Agar kualitas



endapan pada katoda berkualitas baik dan tidak sampai terbakar, maka perlu diperhatikan besaran rapat arus katoda.

4. Tegangan

Tegangan yang dipakai dalam proses elektroplating bergantung pada jenis, komposisi, dan kondisi elektrolit. Pada dasarnya, rapat arus dapat dinaikkan dengan menaikkan tegangan, akan tetapi hal ini dapat mengakibatkan terjadinya polarisasi dan tercapainya tegangan batas, kondisi di mana tidak terjadi lagi aliran arus melalui elektrolit.

5. Jarak Anoda-Katoda

Jarak anoda-katoda menentukan besarnya hantaran arus listrik dan sangat berpengaruh terhadap keseragaman tebal lapisan. Besarnya hantaran berbanding terbalik dengan jarak. Apabila jarak anoda-katoda kecil, maka hambatan menjadi kecil dan konduktivitas besar sehingga untuk menghasilkan arus yang sama diperlukan tegangan yang lebih rendah.

6. Rasio dan Bentuk Anoda-Katoda

Perbandingan permukaan anoda-katoda sangat penting untuk menjaga agar ion-ion yang terlibat dalam proses selalu seimbang. Penentuan standar rasio anoda-katoda tergantung pada jenis elektroplating yang digunakan.

7. Distribusi Arus

Lintasan arus dari anoda ke katoda tidak semuanya lurus, melainkan cenderung melengkung, terutama yang berasal dari ujung anoda ke ujung katoda. Keadaan ini mengakibatkan rapat arus pada ujung-ujung elektroda menjadi lebih besar sehingga endapan yang terbentuk pada bagian ujung cenderung lebih tebal. Pada proses elektroplating untuk benda-benda yang rumit sering dihasilkan permukaan yang tidak rata, terutama di daerah-daerah yang berlekuk. Untuk mengatasinya, biasanya digunakan anoda sekunder untuk daerah-daerah tersebut. Sedangkan pada daerah dengan rapat arus tinggi (biasanya di bagian ujung) dapat dipasang pemecah arus yang biasanya berupa plastik berbentuk sikat gigi.



8. Temperatur

Temperatur memiliki pengaruh terhadap konduktivitas. Semakin tinggi temperatur, maka konduktivitas semakin tinggi dan berakibat hantaran arus juga semakin meningkat. Akan tetapi setiap jenis proses elektroplating memiliki rentang temperatur optimum, di mana jika temperatur proses berada di atas temperatur maksimum akan menyebabkan endapan terbakar dan kerusakan aditif.

9. Daya Tembus (*Throwing Power*)

Daya tembus merupakan kemampuan proses elektrolitik untuk menutup katoda dengan lapisan seseragam mungkin, yang ditentukan oleh pengaturan geometri tangki dan berbagai parameter proses lainnya, termasuk juga jenis elektrolit.

10. *Epitaxy dan Leveling*

Epitaxy didefinisikan sebagai lapisan mengikuti bentuk dan struktur dari benda kerja sebagai katoda, sehingga benda kerja kasar akan menghasilkan permukaan lapisan yang kasar. Sedangkan *leveling* adalah kebalikan dari *epitaxy*, di mana lapisan meratakan bagian-bagian benda kerja yang cekung, sehingga menghasilkan permukaan lapisan yang rata (*selevel*). *Leveling* dapat diperoleh dengan penambahan aditif pada proses elektroplating.

11. Aditif

Aditif merupakan zat tambahan dengan jumlah kecil yang dimaksudkan untuk mengatur pertumbuhan kristal sehingga diperoleh hasil plating dengan kualitas yang baik meliputi kecerahan dan kilap (*bright*) dan kekerasan (*hard*). Pemberian aditif dapat pula memperbaiki *leveling*. Aditif umumnya berupa senyawa organik yang bekerja pada rentang temperatur tertentu dan dapat rusak selama proses berlangsung.

12. Kontaminasi

Keberadaan benda padat yang melayang-layang, tersuspensi maupun terlarut dalam elektrolit dapat menyebabkan



kontaminasi bagi elektrolit yang berpengaruh terhadap kualitas hasil elektroplating. Padatan tersebut dapat pula ikut mengendap di katoda, sehingga hasilnya menjadi kasar, terjadi noda-noda, atau bintik-bintik pada permukaan lapisan. Akibat lain dari adanya kontaminan pada elektrolit adalah elektrolit menjadi rusak, sehingga proses pengendapan ion logam pada katoda menjadi terganggu.(Irwanto, 2010)

2.1.10 Rapat Arus (*Current Density*)

Definisi rapat arus adalah besar arus tiap jumlah luas permukaan benda kerja yang akan dilapisi. Atau dituliskan dalam bentuk persamaan :

$$CD = \frac{I}{A} (A/dm^2)(2.15)$$

Dengan:

CD = Rapat Arus (A/dm²)

I = Kuat Arus (A)

A = Luas Permukaan Katoda (dm²)

Rapat arus ini memegang peranan yang sangat penting dalam proses pelapisan listrik. Baik dan buruknya hasil pelapisan ditentukan oleh sesuai atau tidaknya rapat arus yang digunakan dalam proses pelapisan tersebut. Ketika rapat arus yang digunakan terlalu kecil maka proses pengendapan pada katoda akan berjalan dengan lambat. Ini berarti laju pelepasan elektron, yang berhubungan pada pengendapan logam pelapis terjadi secara lambat. Tetapi tidak dapat dipakai arus sebesar-besarnya untuk mempercepat pengendapan, hal ini disebabkan karena rapat arus yang terlalu tinggi akan menyebabkan jeleknya hasil pelapisan.

Rapat arus yang tinggi akan mempercepat laju pembentukan deposit logam pelapis ke logam yang dilapisi dan rapat arus yang rendah akan memperlambat waktu pembentukan deposit, waktu pembentukan deposit yang lambat akan memberikan kesempatan butir untuk tumbuh (*growth nuclei*)



daripada untuk munculnya butir baru (*fresh nuclei*) apabila pembentukan butir lebih lambat dari butir tumbuh maka logam deposit berbutir kasar dan permukaannya kasar, waktu pembentukan deposit yang lebih cepat menyebabkan butir-butir baru daripada butir tumbuh. Apabila pembentukan butir baru lebih cepat dari butir tumbuh maka logam deposit akan berbutir kecil dan permukaannya halus (Wahyono, 1996).

Bertambahnya rapat arus menyebabkan laju deposisi menjadi tinggi, tapi besar rapat arus harus dibatasi, karena arus listrik dalam proses elektroplating tidak hanya digunakan untuk pembentukan lapisan logam saja, tetapi juga dipakai untuk pembentukan gas hidrogen yang berpengaruh pada porositas dan perubahan orientasi kristal logam pelapis (Wahyono, 1996).

2.1.11 Massa Endapan pada Katoda

Banyak logam yang mengendap membentuk lapisan atau deposit pada katoda dinyatakan dalam hukum Faraday I, yaitu massa endapan (W) sebanding dengan kuat arus (I) dan waktu plating (t). Hukum Faraday II menyatakan bahwa massa endapan tergantung dari jenis logam yang dinyatakan sebagai berat ekuivalen. Pernyataan tersebut dirumuskan sebagai berikut:

$$w = \frac{I \times t \times A}{Z \times F} \text{ (gr)} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dengan : w = berat logam yang diendapkan (gr)

I = arus yang digunakan (Ampere)

t = waktu (detik)

A = berat atom (gr/mol)

Z = valensi

F = bilangan Faraday = 96500 Coulomb/mol

2.1.12 Ketebalan Deposit

Ketebalan dari proses *coating* adalah jarak normal antara permukaan logam dasar dan lapisan luar dari coating. Untuk keperluan praktik, direkomendasikan untuk menentukan ukuran



maksimal daerah *coating*, yang akan diperhitungkan juga dengan biaya produksi minimal.

Ketebalan lapisan merupakan salah satu karakteristik dari teknologi pelapisan yang digunakan, ketebalan *coating* mempengaruhi berbagai sifat penting dari lapisan, seperti kekuatan ikatan antara lapisan dan logam dasar. Peningkatan ketebalan diatas tita maksimal ketebalan tidak hanya akan memberikan efek yang buruk terhadap sifat hasil *coating*, tetapi juga akan berdampak terhadap biaya.(Fuqron, 2015)

Ketebalan deposit dapat dievaluasi dengan cara mempertimbangkan volume dari deposit. Karena volume dari deposit merupakan produk dari luas area *plated surface* dan ketebalan (tinggi) h , dengan $h = V/a$. Volume dari deposit berhubungan dengan tinggi dari deposit dan densitas dari deposit d dengan hubungan yang mendefinisikan densitas $d = w/V$, maka :

$$h = \frac{V}{a} = \frac{w}{ad} \dots\dots\dots(2.17)$$

Dengan : h = Ketebalan deposit

V = Volume deposit

a = Luas permukaan yang terlapisi

w = Masa deposit

d = Masa jenis deposit

2.1.13 Efisiensi Plating (η)

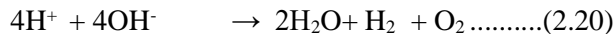
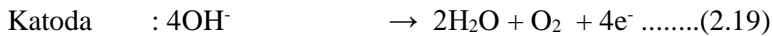
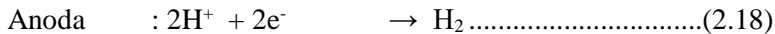
Efisiensi plating pada umumnya dinyatakan sebagai efisiensi arus anoda maupun katoda. Efisiensi katoda yaitu arus yang digunakan untuk mengendapkan logam pada katoda yaitu dibandingkan dengan total arus masuk. Arus yang tidak dipakai untuk pengendapan digunakan untuk penguraian air membentuk gas hidrogen, hilang menjadi panas atau pengendapan logam-logam lain sebagai impuritas yang tak diinginkan. Efisiensi anoda yaitu perbandingan antara jumlah logam yang terlarut dalam



elektrolit sebanding dengan jumlah teoritis yang dapat larut menurut Hukum Faraday.

Kondisi plating dikatakan baik bila diperoleh efisiensi katoda sama dengan efisiensi anoda, sehingga konsentrasi larutan bila menggunakan anoda aktif akan selalu tetap. Efisiensi arus katoda sering dipakai sebagai pedoman menilai apakah semua arus yang masuk digunakan untuk mengendapkan ion logam pada katoda sehingga didapat efisiensi plating sebesar 100% ataukah lebih kecil. Adanya kebocoran arus listrik, larutan yang tidak homogen dan elektrolisis air merupakan beberapa penyebab rendahnya efisiensi.

Elektrolisis air merupakan reaksi samping yang menghasilkan gas hidrogen pada katoda dan gas oksigen pada anoda. Reaksi elektrolisis air dapat dituliskan sebagai berikut :



Secara praktis efisiensi plating, yang diwakili dengan efisiensi katoda, dinyatakan sebagai perbandingan berat nyata terhadap berat teoritis endapan pada katoda.

Efisiensi katoda dirumuskan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{W'}{W} \dots\dots\dots(2.21)$$

Dimana : η = Efisiensi pelapisan
 W' = Berat endapan pada katoda
 W = Berat teoritis



2.1.14 Larutan Elektrolit

Selama beberapa dekade terakhir, ratusan *plating bath* yang berbeda telah dikembangkan untuk mengoptimalkan deposisi dari logam atau paduan. Kegunaan dari karakterisasi *bath*, ini adalah karena pH pada saat proses elektroplating. Dalam hal ini, satu proses memiliki bath berupa asam, netral dan alkalia atau *buffer*. Istilah elektrolit didefinisikan sebagai media konduktif untuk sebagian besar proses elektroplating. Elektrolit yang paling umum adalah larutan encer dengan cairan kima yang larut dalam air. Saat arus listrik dialirkan melewati larutan melalui anoda dan katoda, deposisi logam terjadi pada katoda. Elektrolit memiliki variasi pada pH dan mungkin saja merupakan larutan asam, netral, dan alkali.

Elektrolit harus mengandung garam yang terlarut dari logam untuk didepositkan. Garam tersebut akan larut dalam air dan membentuk ion. Secara umum, semakin kompleks suatu ion, semakin efisien dan semakin halus deposit logam yang terbentuk. Elektrolit yang paling kompleks berasal dari ion sianida, berbeda dengan ion tembaga sulfat yang sederhana. Alasan utama mengapa elektrolit sianida biasanya dipakai adalah dengan sebuah ion kompleks, kandungan sebenarnya dari logam dalam ion relatif lebih rendah dibandingkan dengan ion yang sederhana, dan hal ini memperlambat formasi dari imersi deposit saat katoda ditempatkan pada elektrolit, yang dapat menyebabkan masalah dengan adhesi. (Fuqron, 2015)

Setiap jenis proses pelapisan memiliki larutan elektrolit yang berbeda-beda tergantung pada sifat-sifat elektrolit yang diinginkan. Komposisi larutan elektrolit yang dipakai pada proses pelapis tembaga, nikel dan *hard chromium* adalah sebagai berikut:

- a. Komposisi larutan elektrolit nikel :
Nikel Sulfat (NiSO_4) : 300 g/l
Nikel Klorida (NiCl) : 50 g/l
Boric Acid : 40 g/l
- b. Komposisi larutan elektrolit krom :



Asam Kromat (CrO_3) : 250 g/l
Asam Sulfat (H_2SO_4) : 2,5 g/l

2.1.15 Kelekatan Logam Pelapis pada Substrat

Adhesi didefinisikan sebagai pelekatan bersama dari dua material. Kekuatan adhesi dalam pengertian praktis, adalah tegangan yang di butuhkan untuk melepaskan lapisan dari logam induk. Kekuatan adhesi adalah faktor penting yang mengendalikan beberapa karakteristik fungsional seperti umur pakai yang panjang dan ketahanan korosi pada lapisan tipis ($<1\text{ mm}$), lapisan tebal ($>1\text{ mm}$), dan lapisan yang sangat besar ($>25\text{ mm}$) adalah adhesi antara lapisan dan logam induk (Bhusham, 1991). Adhesi yang baik terjadi jika ikatan antara lapisan dan logam induk adalah sama atau lebih besar daripada kekuatan kohesif (ikatan antara molekul yang sejenis) diantara keduanya. Adhesi yang baik akan didapatkan jika proses elektroplating dilakukan dengan benar.

Adhesifitas yang baik dari logam pelapis pada substrat (logam induk) adalah salah satu kebutuhan yang paling utama. Untuk adhesi yang baik, substrat harus dibersihkan secara menyeluruh, dan bebas dari lapisan film. Untuk adhesifitas yang optimum, substrat dan lapisan logam pelapis harus saling berdifusi dengan butiran yang saling berikatan, untuk memberikan daerah pertemuan permukaan yang baik (Busham, 1991) dibersihkan secara menyeluruh, dan bebas dari lapisan film. Untuk adhesifitas yang optimum, substrat dan lapisan logam pelapis harus saling berdifusi dengan butiran yang saling berikatan, untuk memberikan daerah pertemuan permukaan yang baik (Busham, 1991).

Adanya *blister* (porositas tertutup yang berukuran besar) dan *peeling* (porositas tertutup yang berukuran kecil) akan menurunkan adhesifitas. *Blister* dan *peeling* disebabkan oleh rapat arus yang terlampau tinggi, adanya *impurities* (pengotor), konsentrasi larutan elektrolit yang terlalu tinggi, perlakuan permukaan sebelum proses pelapisan, dan kondisi substrat (logam



induk) itu sendiri. Dengan kenaikan rapat arus, kemungkinan terjadinya *blister* dan *peeling*, karena gas hidrogen yang dihasilkan disekitar katoda semakin banyak. Untuk mengurangi produksi gas hidrogen dapat dilakukan dengan menaikkan temperatur proses atau konsentrasi larutan elektrolit.

2.1.16 Chromium Plating

Terdapat dua tipe dalam pelapisan krom yang pertama yaitu pelapisan dekoratif yang merupakan lapisan tipis yang berguna untuk melindungi benda kerja dari noda, perlindungan yang tahan lama terhadap benda kerja, dan pelapisan *hard chromium*, dimana pelapisan dengan skala industri digunakan untuk mengambil kelebihan dari sifat-sifat spesial yang dimiliki oleh krom, yang meliputi resistansi terhadap panas, ketahanan aus, ketahanan korosi, ketahanan erosi, memiliki koefisien gesek yang rendah dan anti abrasi. (Svenson, 2006)

Ketebalan deposit dari deposit dari *decorative plating* biasanya di bawah $0,8\mu\text{m}$. *Decorative plating* memberikan efek tampilan yang berkilau dan juga tetap memberikan resistansi terhadap korosi. Pelapisan ini biasanya dilapiskan diatas pelapisan nikel tetapi tetapi terkadang dilapiskan langsung pada permukaan benda kerja. Ketebalan deposit dari *hard chrome plating* lazimnya lebih tebal dari $0,8\mu\text{m}$ dan digunakan pada skala industri, bukan untuk fungsi dekoratif. Berbeda dengan *decorative plating*, pelapisan ini biasanya dilapiskan langsung pada benda kerja dan hanya beberapa kasus saja dilapiskan diatas elektrodeposit lain, seperti nikel.

Tidak seperti logam yang lain, krom tidak dapat didepositkan dari larutan cair yang mengandung ion logam saja. Proses pelapisan krom harus mengandung satu atau lebih asam radikal yang berperan sebagai katalis (untuk *hexachromium*) atau *complexer* (untuk *trichromium*) untuk membawa atau membantu pada deposisi katodik dari logam krom. Katalis yang paling umum digunakan untuk proses *double-(mixed)-catalyzed hexachromium* adalah sulfat dan fluoride. Fluoride umumnya



dalam bentuk kompleks seperti silikonflouride (SiF_6^{2-}), sejak flouride sederhana hanya efektif pada kuantitas kecil yang menyebabkan proses kontrol menjadi sulit. Untuk keberhasilan dalam proses yang berkelanjutan, rasio (dengan berat) asam kromat dengan total katalis asam kuat harus diatur umumnya sekitar 100 : 1 pada sulfat. (Mandich et al, 2010)

2.3 Preparasi Permukaan Sebelum Elektroplating

Benda kerja yang akan diplating harus melalui proses pembersihan sebelumnya, tujuan dari proses ini adalah untuk menghilangkan kontaminan seperti, debu dan film yang masih menempel pada permukaannya. Kontaminasi permukaan dapat berupa kotoran organik, debu dari lingkungan atau proses sebelumnya dan ekstrinsik seperti lapisan oksida alami. Untuk itu, pembersihan permukaan penting untuk memastikan kualitas pelapisan. Kebanyakan pembersihan permukaan logam memiliki tiga langkah dasar : *surface cleaning*, *surface treatment*, dan *rinsing*.

2.3.1 Surface Cleaning

Metode pembersihan yang digunakan harus bisa meminimalisasi kerusakan zat selama proses pembersihan kontaminan, debu, film dan/atau puing. Proses pembersihan didasarkan pada dua pendekatan yaitu :

a. Pendekatan Kimia

Pendekatan secara kimia biasanya meliputi *solvent degreasing*, *alkaline cleaning (soak cleaning)*, dan *acid cleaning (acid pickling)*.

- *Solvent degreasing*

Kontaminan yang mengandung minyak dan pelumas dari berbagai tipe, lilin dan berbagai macam material organik. Kontaminan tersebut dapat dihilangkan dengan pelarut organik yang sesuai, baik dengan mencelupkan benda kerja dalam pelarut atau dengan penurunan uap.



- ***Alkaline cleaning***

Benda kerja diimersi dalam tangki yang mengandung larutan pembersih alkalin yang panas untuk menghilangkan kotoran dan tanah. Sebuah tipe alkalin yang spesial dinamakan *electrocleaning*. Pada *electrocleaning*, benda kerja dapat berupa katoda (*direct cleaning*) ataupun anoda (*reverse cleaning*). Penambahan *electrocleaning* pada pembersihan kimia dari pembersih akan menyebabkan munculnya banyak gas pada permukaan benda kerja.

- ***Acid cleaning***

Acid cleaning dapat membersihkan kerak berat, kerak yang timbul karena pemanasan, oksida dan sejenisnya. Jenis asam yang paling sering dipakai meliputi sulfur dan juga hidroklorida. *Pickling* juga dapat dikombinasikan arus agar lebih efektif

b. Pendekatan mekanik

Preparasi mekanik meliputi *polishing*, *buffing* dan beberapa variasi lainnya. *Polishing* digunakan untuk menghilangkan sejumlah kecil logam dengan cara abrasif. Dari proses ini akan didapatkan permukaan yang bebas dari cacat yang diakibatkan oleh proses *grinding* dan merupakan awal untuk melakukan *buffing*. *Buffing* sama dengan proses *polishing*, tetapi *buffing* menggunakan abrasif lain yang lebih halus untuk menghilangkan sangat sedikit bagian logam. *Buffing* dapat menghasilkan permukaan logam yang sangat halus.

2.3.2 Rinsing

Dalam *wet plating*, saat benda kerja ditransfer dari satu larutan ke perlakuan lain, atau saat benda kerja tersebut meninggalkan larutan perlakuan terakhir, benda kerja tersebut mengandung sedikit larutan yang telah diimersi. Larutan ini disebut *drag-out*. Dalam banyak kasus, residu larutan ini harus dihilangkan dari permukaan benda kerja dengan cara *rinsing* sebelum benda kerja memasuki tahap selanjutnya dalam

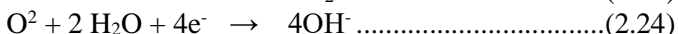


rangkaian pelapisan, atau keluar dari larutan proses akhir. (Huang, 2006).

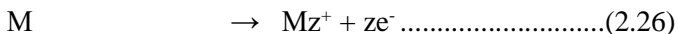
2.4 Korosi

Korosi merupakan sebuah proses degradasi material akibat interaksi dengan lingkungan sekitarnya. Pada umumnya reaksi tersebut berupa reaksi elektrokimia yang menimbulkan reaksi korosi (Trethewey *et al*, 1991). Menurut Jones 1992, korosi didefinisikan sebagai proses degradasi material secara kualitas maupun kuantitas karena peristiwa reaksi kimia dan elektrokimia dengan lingkungannya. Lingkungannya berupa lingkungan atmosfer, gas, tanah, larutan garam, larutan asam dan lainnya (Roberge, 1999).

Korosi merupakan peristiwa alamiah yang terjadi pada suatu bahan dan proses kembalinya bahan ke kondisi semula saat bahan ditemukan dan diolah dari alam. Mekanisme korosi menggunakan reaksi elektrokimia yang melibatkan perpindahan elektron-elektron hasil reaksi reduksi-oksidasi (Fontana, 1987). Reaksi reduksi merupakan reaksi penangkapan elektron yang logamnya sebagai katoda, dengan reaksi yang umum terjadi sebagai berikut (Fontana, 1987):



Sedangkan reaksi oksidasi merupakan reaksi pelepasan elektron dan berakibat terbentuknya ion-ion positif, dengan reaksi yang terjadi pada proses korosi sebagai berikut (Fontana, 1987):





Pada proses korosi terdapat 4 komponen penting yang mempengaruhi dalam kelangsungan korosi, yaitu:

1. Anoda

Anoda merupakan bahan logam yang mengalami reaksi oksidasi atau melepaskan elektron dari atom logam netral kemudian membentuk ion yang bereaksi untuk membentuk karat.

2. Katoda

Katoda merupakan bahan logam yang mengalami reaksi katodik atau menerima elektron dari reaksi anodik. Pada larutan asam akan terbentuk gas H_2 , sedangkan pada larutan basa terbentuk gas O_2 . Hal ini dikarenakan reaksi pada katoda bergantung pada pH larutan

3. Elektrolit

Sebuah media larutan yang mengandung ion-ion yang dapat menghantarkan arus listrik sebagai media perpindahan elektron dari anoda menuju katoda. Larutan yang dapat digunakan sebagai elektrolit dapat berupa larutan asam, basa dan garam

4. Reaksi antara anoda dan katoda

Antara anoda dan katoda harus terjadi kontak langsung yang menghasilkan reaksi spontan dengan melibatkan reaksi reduksi dan oksidasi dapat terjadi.

2.5 Baja AISI 4340

Baja AISI 4340 ini juga dapat disebut baja nikel-chrom-molibdenum ini berdasarkan seri penamaannya. Jadi dengan komposisi kimia tersebut baja AISI 4340 ini mempunyai kekuatan yang tinggi, keuletan yang cukup baik serta *hardenability* yang cukup baik. Baja AISI 4340 merupakan baja konstruksi yang sering digunakan untuk bahan baut, sekrup, roda gigi, batang piston untuk mesin, roda pendaratan, komponen pesawat terbang, juga digunakan pada *screw extruder*. Berikut komposisi kimia dari Baja AISI 4340 disajikan dalam tabel 2.2 berikut ini :



Tabel 2.3 Tabel Komposisi Baja AISI 4340

Unsur	Kadar (wt%)
C	0,38 – 0,43
Mn	0,60 – 0,80
Si	0,15 – 0,35
Ni	1,65 – 2,00
Cr	0,70 – 0,90
Mo	0,20 – 0,30
P	0,035
S	0,040
Fe	Balance

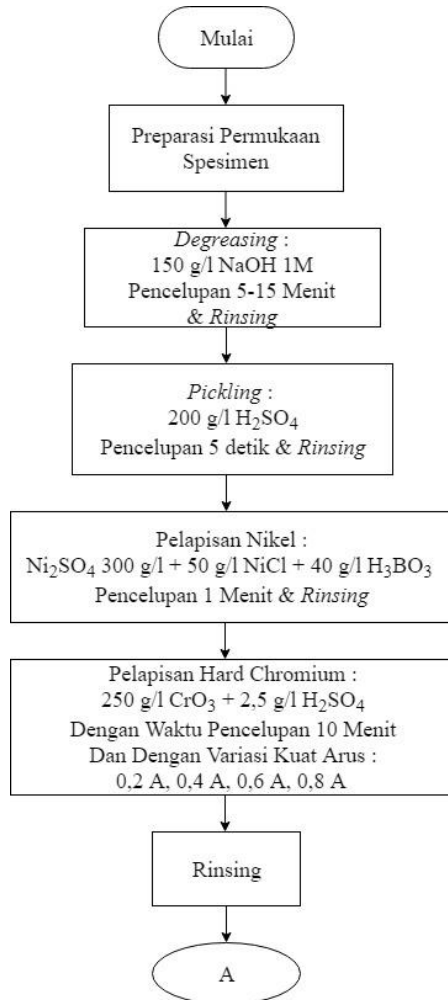
2.6 State of the Art (Penelitian Sebelumnya)

Harnowo Supriadi (2010), dalam penelitian yang berjudul “Studi Eksperimental Tentang Pengaruh Rapat Variasi Rapat Arus Pada *Hard Chrome Electroplating* Terhadap Karakteristik Permukaan Baja Karbon Rendah” menunjukkan tren bahwa semakin naik kuat arus, semakin naik pula ketebalan lapisan *hard chrome* pada permukaan baja karbon rendah. Namun pada variasi rapat arus 60 A/dm² menunjukkan adanya tren penurunan ketebalan lapisan hasil elektroplating, hal tersebut diduga karena turunnya laju pengendapan *hard chromium*, hal tersebut terjadi karena terbentuknya gas hidrogen pada permukaan baja yang menghalangi pengendapan *hard chrome* pada permukaan baja.

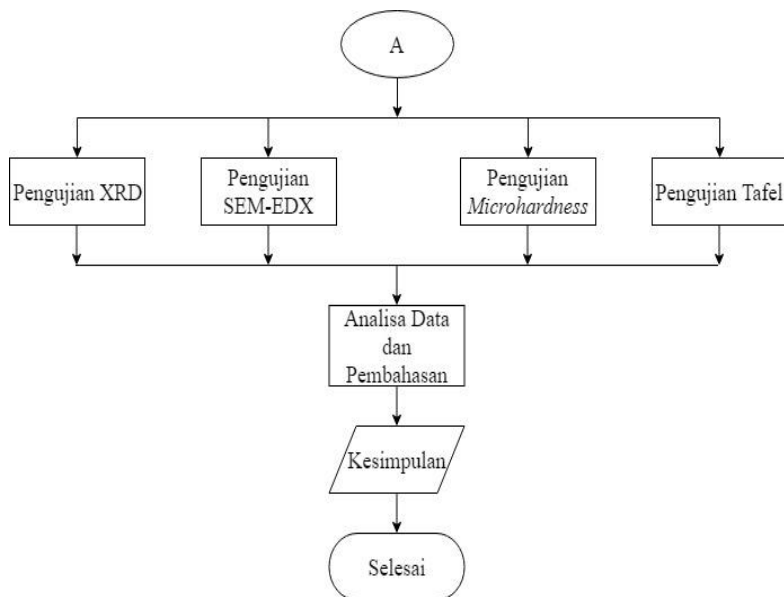
Victor Malau (2012), dalam penelitian yang berjudul “Pengaruh Kuat Arus Pada Pelapisan *Nickel* dan *Nickel-Hard Chromium Plating* Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis Permukaan Baja AISI 410”, menunjukkan tren bahwa semakin naik kuat arus, semakin naik pula ketebalan dan kekerasan hasil pelapisan elektroplating, namun terjadi penurunan ketahanan korosi pada lapisan *nickel-hard chromium*, seiring dengan peningkatan kuat arus, hal itu disebut diduga karena nilai standar potensial nikel lebih tinggi dibandingkan krom dan baja.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

3.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

	Jumlah
1. Aquades	Secukupnya
2. Amplas Grade 80,240 dan 600	5 Lembar
3. Baja AISI 4340	20 Keping
4. CrO_3	250 gram
5. NiSO_4	250 gram
6. H_2SO_4	250 gram
7. HCl 0,5 M	250 ml
8. H_3BO_3	100 gram
9. NaOH	250 gram
10. NiCl_2	100 gram
11. Anoda Nikel (Ni)	1 Potong
12. Anoda Timbal (Pb)	1 Potong



3.3 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Neraca Digital
Untuk mengukur masa dari bahan-bahan yang akan digunakan dalam campuran larutan
2. *Beaker Glass*
Sebagai wadah untuk mencampurkan larutan yang diperlukan dan sebagai wadah proses electroplating
3. *Power Supply*
Sebagai sumber dan pengatur arus listrik yang diperlukan dalam proses electroplating
4. Kabel Listrik dan Penjepit Buaya
Untuk menghantarkan arus listrik dari *Power Supply* menuju katoda dan anoda yang merupakan bagian sistem dalam proses elektroplating
5. Stopwatch
Untuk mengukur lama waktu proses elektroplating
6. Beaker Glass
Sebagai wadah larutan dan tempat terjadinya reaksi selama proses electroplating berlangsung
7. Sarung Tangan Latex
Untuk menghindari kontak langsung dengan larutan kimia yang berpotensi bahaya
8. Alat Pengujian SEM dan SEM EDX
Untuk mengetahui ketebalan hasil elektroplating beserta komposisinya
9. Alat Uji Kekerasan Microhardness Vickers
Untuk mengetahui kekerasan permukaan hasil electroplating
10. Alat Pengujian XRD (X-Ray Diffraction)
Untuk mengetahui fasa yang terbentuk dari hasil proses electroplating
11. Power Supply
Sebagai pengatur kuat arus dan tegangan dalam proses *electroplating*
12. Alat Pengujian Tafel



- Untuk menentukan pengujian laju korosi pada spesimen
13. Jangka Sorong
Untuk mengukur dimensi spesimen
 14. *Hot Plate* Dengan *Magnetic Stirrer*
Untuk mencampur dan memanaskan larutan
 15. Termometer
Untuk mengukur temperatur larutan

3.4 Metode Penelitian

3.4.1 Preparasi Permukaan Spesimen

Sebelum dilakukan proses pelapisan, permukaan spesimen harus dibersihkan dari oksida-oksida yang umumnya merupakan produk korosi dari baja karbon, yaitu dengan cara mengamplas hingga seluruh permukaan baja bebas dari karat. Setelah itu, baja akan diberlakukan proses *degreasing* yang bertujuan untuk menghilangkan pengotor-pengotor organik misalnya seperti minyak yang menempel pada permukaan baja, yaitu dengan cara mencelupkan baja dalam larutan yang terdiri dari larutan 15% NaOH 1 M dalam aquades dengan kisaran temperatur 60-80 °C selama 5-15 menit. Setelah itu spesimen dibilas dengan air.

Setelah *degreasing*, spesimen akan di-*etsa* dengan cara mencelupkan spesimen dalam larutan 20% H₂SO₄ dengan waktu pencelupan selama 5 detik. Proses etsa pada spesimen sangat penting untuk proses pelapisan *hard chromium*, sebab pengerjaan etsa akan menentukan daya lekat (adhesi) pada spesimen dan kontur lapisan (Saleh, 2014). Setelah di-*etsa*, spesimen dibilas dengan air sebelum memasuki tahap pelapisan nikel.

3.4.2 Proses Pelapisan Nikel

Pada pelapisan nikel, jenis larutan yang digunakan adalah *Watt's Bath*. Larutan ini terbuat dari 250 g/l NiSO₄, 50 g/l NiCl dan 40g/l *Boric Acid* (H₃BO₃). Proses ini dilakukan pada kuat arus 1 Ampere dengan rentang temperatur 45-65 °C dalam rentang waktu 1 menit. Kemudian sampel akan dibilas dengan air.



Gambar 3.3 Larutan Watt's Nikel

3.4.3 Proses Pelapisan *Hard Chromium*

Pelapisan *hard chromium* merupakan tahap pelapisan terakhir. Dimana pada proses pelapisan ini akan diberlakukan variasi kuat arus yaitu 0,2 Ampere, 0,4 Ampere, 0,6 Ampere, dan 0,8 Ampere yang mana akan berimplikasi pada nilai rapat arus yang akan menentukan kecepatan proses pelapisan. Dimana jenis larutan yang digunakan adalah larutan *Chromic Sulfate*, yang terdiri dari 250g/l asam kromat (CrO_3) dan 2,5 g/l asam sulfat. Proses pelapisan ini dilakukan pada kisaran temperatur $50^{\circ-60}$ C dan pencelupan dilakukan selama 10 menit.



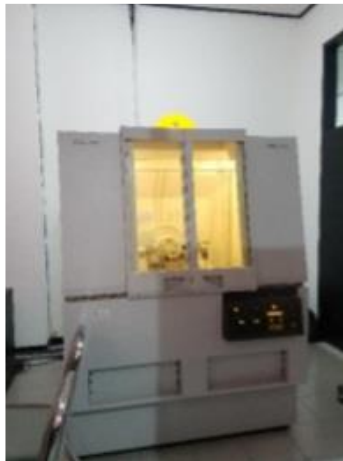
Gambar 3.4 Larutan Krom Trioksida



3.5 Pengujian

3.5.1 XRD (X-Ray Diffraction)

Sinar-X telah ditemukan pada tahun 1895 oleh fisikawan Jerman Roentgen. Sinar-X pada awalnya masih menjadi misteri, maka dinamakan sinar-X. Sinar-X merupakan radiasi elektromagnetik mirip dengan sinar tampak, namun sinar-X memiliki panjang gelombang yang lebih pendek. Secara keseluruhan besar panjang gelombang sinar-X adalah dalam angstrom (\AA) yaitu sama dengan 10^{-8} cm, dan sinar-X digunakan dalam difraksi dengan besar panjang gelombang antara $0,5 - 2,5 \text{ \AA}$. Difraksi adalah fenomena hamburan di mana sejumlah besar atom bekerja sama. Karena atom-atom disusun secara berkala pada kisi, sinar tersebar oleh mereka yang memiliki hubungan fase yang pasti, hubungan fase ini mengakibatkan interferensi destruktif yang terjadi pada kebanyakan arah hamburan, tetapi dalam beberapa arah terjadi interferensi konstruktif dan terbentuk difraksi sinar. Kedua kejadian ini adalah gerakan gelombang interferensi (sinar-X) dan satu set pusat hamburan diatur secara berkala (atom dari kristal).



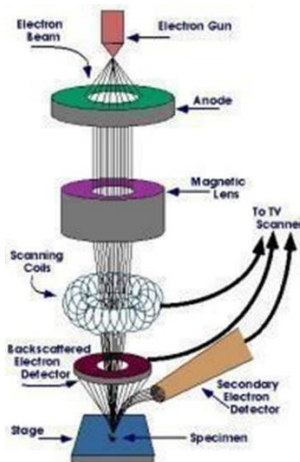
Gambar 3.5 Alat Uji XRD



Difraksi sinar-X (XRD) merupakan alat yang digunakan untuk menentukan struktur dan pengenalan bahan-bahan baik keramik, logam, gelas maupun komposit. Teknik dasar XRD digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi untuk mendapatkan ukuran partikel. Komponen dasar XRD terdiri dari sumber sinar-X (*X-Ray source*), material uji (spesimen), dan detector sinar-X (*X-Ray detector*)

3.5.2 Scanning Electron Microscope (SEM)-EDX

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan mikroskop yang memanfaatkan pancaran elektron berenergi tinggi untuk memeriksa objek dalam skala yang sangat kecil. Pengamatan ini memberikan informasi mengenai topografi (jenis permukaan objek), morfologi (bentuk dan ukuran partikel), komposisi (unsur dan senyawa beserta jumlah relarif masing-masing) menggunakan EDX (*Energy Disspersive X-Ray analysis*). SEM digunakan untuk menguji topografi dan morfologi dari semua sampel.



Gambar 3.6 Mekanisme Kerja Alat SEM



Prinsip kerja SEM ini ditunjukkan pada Gambar 3.3 dimana berkas elektron yang dihasilkan oleh electron gun menyapu permukaan sampel. Pada saat elektron berinteraksi dengan sampel, maka akan dihasilkan *secondary electron* (SE), elektron ini masuk ke dalam detektor dan diubah menjadi sinyal listrik yang menghasilkan gambar pada layar monitor. Sinyal keluaran dari detektor ini berpengaruh terhadap intensitas cahaya di dalam tabung monitor, karena jumlah cahaya yang dipancarkan oleh monitor sebanding dengan jumlah elektron yang berinteraksi dengan sampel. Hasil yang ditampilkan dengan *secondary electron* ini adalah topografi permukaan sampel. Sedangkan untuk mengamati fasa-fasa, dilakukan dengan *backscattered electron* (BSE) dengan hasil gambar yang memiliki gradasi warna, Bahan dengan nomor atom yang besar, akan tampak lebih terang dibanding bahan dengan nomor atom yang lebih kecil.

Pengujian EDS (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy), bertujuan untuk mengetahui apa saja jenis unsur penyusun material yang ada dalam sampel, dan sekaligus untuk mengetahui nilai % berat dan % atomik dari semua unsur penyusun tersebut. EDS digunakan untuk mengetahui kandungan jumlah atom chromium yang terdeposit pada substrat dalam pengujian ini. Pengujian EDS dilakukan dengan menggunakan alat SEM, yang dilengkapi dengan software INCA.

3.5.3 Pengujian Kekerasan Mikro



Gambar 3.7 Alat Uji Microhardness



Pengujian kekerasan permukaan spesimen dilakukan dengan menggunakan alat uji kekerasan Vickers dengan indenter dari bahan intan berbentuk piramid bujur sangkar. Pada daerah bekas penekanan akan berbentuk sudut dengan dua bidang miring yang saling berhadapan. Angka kekerasan didapat dengan mengukur kedua panjang diagonal dari hasil penekanan, kemudian dimasukkan pada persamaan berikut :

$$VHN = 1854,4 \times \frac{P}{d^2} \dots \dots \dots (3.1)$$

Dengan :

P = Beban yang diterapkan (g/f)

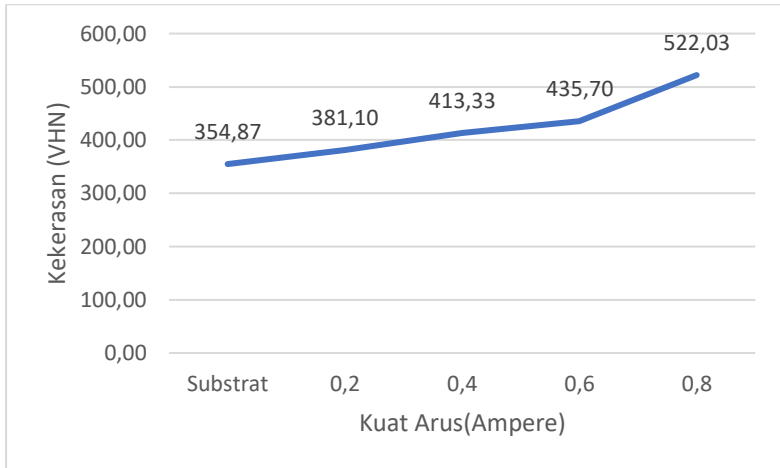
d = Diagonal rata-rata tapak tekan (μm)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Kekerasan Permukaan Lapisan



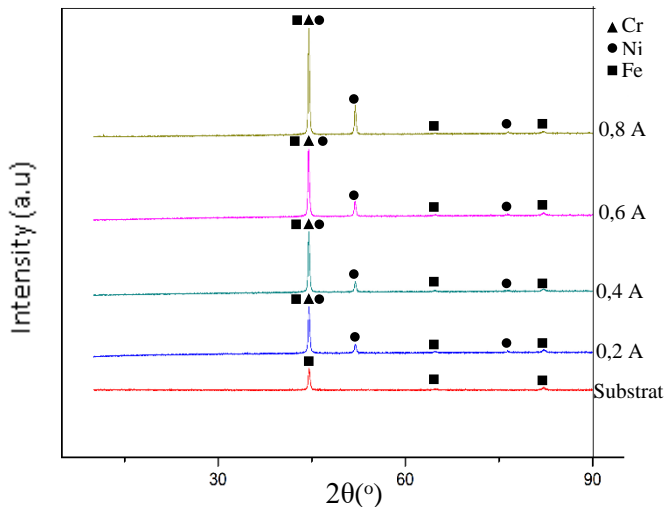
Gambar 4.1 Grafik Nilai Kekerasan Terhadap Kuat Arus

Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa nilai kekerasan lapisan *Hard Chromium* meningkat seiring dengan meningkatnya kuat arus. Kekerasan tertinggi diperoleh pada variasi kuat arus 0,8 Ampere dengan nilai kekerasan sebesar 522,03 VHN. Hal tersebut terjadi karena seiring dengan meningkatnya kuat arus proses reaksi pengendapan ion elektrolit krom heksavalen (Cr^{6+}) menjadi lebih cepat, sehingga akan lebih banyak atom hidrogen yang masuk secara interstisi kedalam struktur endapan krom dan begitu juga ketebalan lapisan endapan krom yang terbentuk. Sebagaimana juga ditunjukkan pada hasil pengujian SEM yang menunjukkan ketebalan tertinggi terdapat pada sampel dengan variasi kuat arus 0,8 Ampere begitupun juga pada hasil pengujian XRD yang menunjukkan kenaikan intensitas peak dengan peak krom tertinggi ditemukan pada sampel dengan



variasi kuat arus 0,8 Ampere. Interstisi atom hidrogen ini akan menyebabkan terjadinya distorsi kisi dan tegangan dalam lapisan sehingga kekerasan lapisannya menjadi meningkat karena adanya distorsi kisi dan tegangan sehingga mengakibatkan gerakan dislokasi pada lapisan menjadi terhambat (Malau, 2012).

4.2 Analisa Hasil XRD



Gambar 4.2 Hasil Pengujian XRD

Hasil pengujian XRD dari substrat baja AISI 4340 ditemukan tiga peak Fe pada 2θ di $44,527^\circ$, $64,8056^\circ$ dan $82,2202^\circ$, hal tersebut bersesuaian dengan #ICDD 01-089-7194 dengan *peak* 2θ $44,673^\circ$, $65,023^\circ$, $82,335^\circ$ dengan orientasi kristal [110], [200], [211], dengan tren yang menunjukkan bahwa intensitas *peak* Fe yang cenderung menurun seiring meningkatnya kuat arus dan meningkatnya intensitas *peak* krom. Hal tersebut diakibatkan karena semakin tebal lapisan tebal lapisan krom, membuat intensitas hasil difraksi sinar-X yang mengenai permukaan



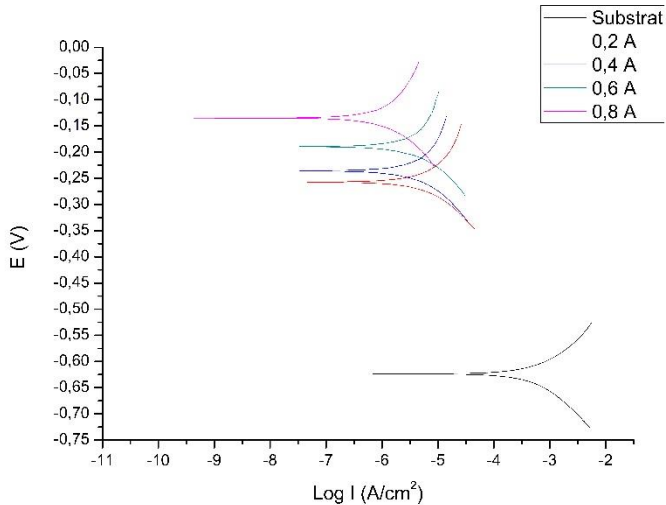
substrat menjadi lebih lemah. Pada sampel yang telah terlapisi *hard chromium* ditemukan tiga *peak* 2θ pada $44,5274^\circ$, $64,8058^\circ$, dan $82,2202^\circ$ dimana ketiga *peak* tersebut bersesuaian dengan #ICCD 00-001-1261 yang menunjukkan tiga *peak* krom dengan 2θ pada $44,600^\circ$, $64,678^\circ$, dan $82,532^\circ$, dengan orientasi kristal masing-masing *peak* [110], [200], dan [211].

Hal tersebut juga ditemukan dalam penelitian yang dilakukan Cimenoglu (2014), dimana dalam studinya dikatakan bahwa adanya lebih dari satu orientasi kristal pada unsur krom yang terbentuk yang dikarenakan adanya pengaruh hidrogen yang mempengaruhi ukuran kristal krom sehingga menjadi lebih kecil sehingga terbentuk struktur kristal krom yang memiliki orientasi kristal [110] dengan intensitas yang tinggi. Selain itu, nikel yang ada karena pelapisan nikel sebelum krom, ditemukan tiga *peak* 2θ di $44,5274^\circ$, $51,9370^\circ$ dan $76,4533^\circ$, dimana ketiga *peak* tersebut juga bersesuaian dengan #ICDD 01-087-0712 yang menunjukkan tiga *peak* nikel dengan 2θ di $44,497^\circ$, $51,851^\circ$, dan $76,383^\circ$ dengan orientasi kristal [111], [200], dan [220].

Tren menunjukkan bahwa peningkatan intensitas unsur krom pada hasil XRD meningkat seiring dengan meningkatnya variasi kuat arus yang diberlakukan pada proses elektroplating *hard chromium*, dengan intensitas krom tertinggi terlihat pada *peak* 2θ $44,600^\circ$. Hal tersebut terjadi dikarenakan adanya kenaikan arus mempercepat kecepatan reaksi pengendapan krom pada substrat, sehingga dalam durasi pelapisan yang sama, akan dihasilkan ketebalan lapisan krom yang lebih tebal, yang mana hal tersebut dapat dilihat pada hasil pengujian SEM pada bagian *cross section* sampel yang menunjukkan bahwa ketebalan tertinggi terdapat pada sampel dengan variasi kuat arus tertinggi. Hasil pengujian SEM-EDX juga menunjukkan hasil yang serupa, dimana terlihat adanya tren kenaikan komposisi krom seiring dengan meningkatnya variasi kuat arus yang diberlakukan pada proses elektroplating *hard chromium* dengan komposisi krom tertinggi dapat terlihat pada sampel dengan variasi kuat arus 0,8 Ampere.



4.3 Analisa Laju Korosi



Gambar 4.3 Hasil Pengujian Tafel

Tabel 4.1 Tabel Laju Korosi

Variasi (Ampere)	Laju Korosi (mma)
0 A (Substrat)	18,976
0,2 A	0,06853
0,4 A	0,046926
0,6 A	0,041521
0,8 A	0,012318

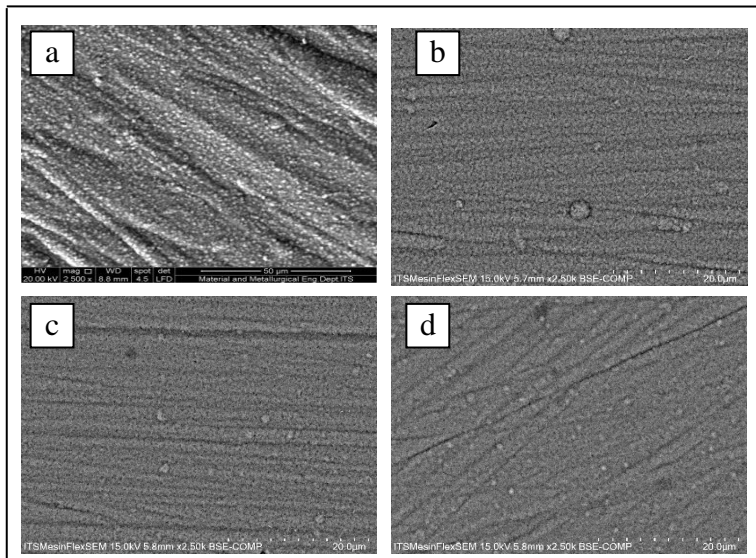
Berdasarkan data hasil pengujian laju korosi Tafel test menunjukkan bahwa pemberian lapisan *nikel-hard chromium* menurunkan laju korosi pada substrat, dengan laju korosi terendah dimiliki oleh sampel dengan variasi kuat arus pelapisan 0,8 Ampere yaitu sebesar 0,012318 mm/a. Hal tersebut membuktikan bahwa adanya lapisan *hard chromium* akan meningkatkan sifat ketahanan korosi pada material. Semakin



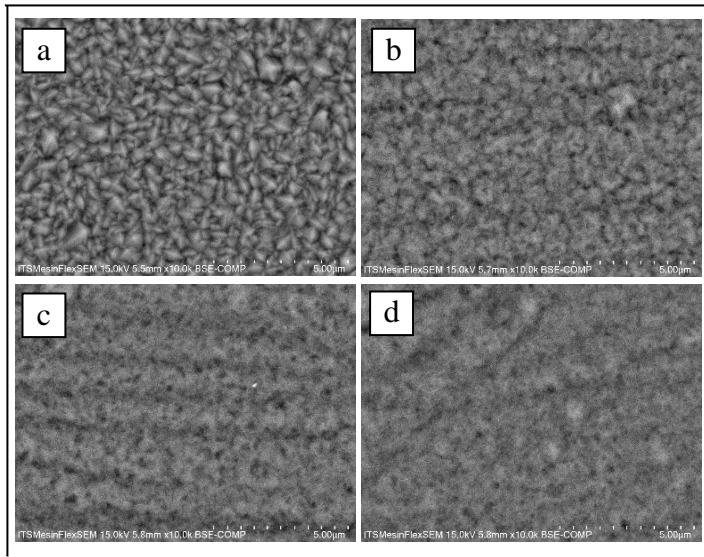
tinggi arus, maka akan menghasilkan ketebalan lapisan yang lebih tinggi, sehingga mengakibatkan ketahanan korosi lebih tinggi dimana hal serupa juga ditemukan dalam studi yang dilakukan oleh Li, dkk (2017). Berdasarkan kurva tersebut dapat dilihat bahwa dengan pemberian lapisan *hard chromium* kurva polarisasi anodik cenderung naik, hal itu menunjukkan bahwa jenis proteksi lapisan *hard chromium* merupakan jenis proteksi anodik (Shreir, 1993).

4.4 Analisa Ketebalan dan Morfologi Lapisan

Pengujian SEM Morfologi (Scanning Electron Microscope) dilakukan untuk mengetahui dan menganalisa morfologi dari permukaan lapisan *hard chromium*. Bintik-bintik putih pada permukaan tersebut merupakan butir kristal krom yang mengendap pada permukaan substrat (Cimenoglu, 2014).



Gambar 4.4 Hasil SEM Morfologi Permukaan Lapisan *Hard Chromium* Perbesaran 2.500x (a) 0,2 Ampere, (b) 0,4 Ampere, (c) 0,6 Ampere, (d) 0,8 Ampere



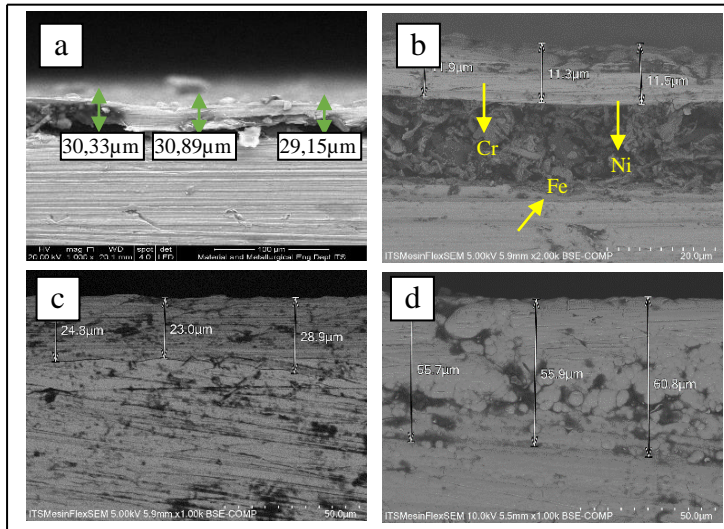
Gambar 4.5 Hasil SEM Morfologi Permukaan Lapisan *Hard Chromium* Perbesaran 10.000x (a) 0,2 Ampere, (b) 0,4 Ampere, (c) 0,6 Ampere, (d) 0,8 Ampere

Pada perbesaran 10.000x dapat dilihat butir-butir kristal tersebut tampak lebih menyatu dan menutupi permukaan lebih homogen namun tetap memiliki beberapa lubang pori pada, sebab semakin tinggi arus yang diterapkan dalam proses pelapisan, ketebalan lapisan akan semakin tebal juga, namun akan memiliki kecenderungan untuk membentuk *micropore* dan juga *microcrack*. Morfologi yang serupa juga ditemui pada penelitian yang dilakukan oleh Giovanardi (2011).

Untuk ketebalan lapisan dilakukan pengujian SEM pada bagian *cross section* dari spesimen. Pengamatan pada sampel dilakukan dengan perbesaran 1000x. Untuk pengujian SEM baik pada bagian morfologi maupun *cross section* pada variasi 0,2 Ampere menggunakan *Secondary Electron* sedangkan pada variasi 0,4 Ampere, 0,6 Ampere dan 0,8 Ampere menggunakan



Backscattered Electron, hal tersebut dikarenakan sampel dengan variasi kuat arus 0,2 Ampere diuji menggunakan alat uji SEM yang berbeda dengan ketiga sampel lainnya. Sehingga pada sampel dengan variasi kuat arus 0,2 Ampere tampak hasil pengujiannya lebih terang.



Gambar 4.6 Hasil SEM *Cross Section Lapisan Hard Chromium* Perbesaran 1000x (a) 0,2 Ampere, (b) 0,4 Ampere, (c) 0,6 Ampere, (d) 0,8 Ampere

Pada variasi kuat arus 0,2 Ampere tampak tebal lapisan rata-rata $30,123\mu\text{m}$. Sedangkan ketebalan lapisan pada variasi kuat arus 0,4 Ampere terjadi penurunan ketebalan dengan ketebalan lapisan rata-rata sebesar $11,567\mu\text{m}$, hal tersebut terjadi karena adanya material asing yang masuk kedalam lapisan yang membelah lapisan sehingga *interface* dan ketebalan asli lapisan tidak dapat diketahui. Hal serupa juga ditemui pada penelitian Giovanardi (2011), yang menyatakan bahwa adanya suatu partikel serpihan hasil *polishing* yang dilakukan sebelum



pengujian. Sedangkan pada variasi kuat arus 0,6 Ampere memiliki ketebalan rata-rata 25.567 μm , yang mana lebih tipis dibandingkan pada variasi kuat arus 0,2 Ampere. Diduga akibat ketidakhomogenan hasil lapisan *hard chromium*, dimana titik uji merupakan titik dengan ketebalan lapisan yang lebih tipis dibandingkan yang lain. Sedangkan ketebalan tertinggi tercapai pada variasi kuat arus 0,8 Ampere dengan ketebalan rata-rata sebesar 57,467 μm .

4.5 Analisa Komposisi Lapisan

Analisa komposisi permukaan lapisan dapat dilakukan dengan pengujian *Energi Dispersive X-ray* (EDX)

Tabel 4.3 Tabel Komposisi Lapisan

Sampel	Unsur(% wt)						
	Cr	Ni	Fe	O	Mn	Si	Al
0,2 A	54,74	39,89	01,98	04,40	-	-	-
0,4 A	65,3	26,3	02,32	4,16	1,92	-	-
0,6 A	85,75	5,21	-	4,15	3,76	0,53	0,60
0,8 A	90,78	1,31	0,74	4,02	2,53	-	0,63

Berdasarkan tabel tersebut, dapat diketahui bahwa kadar krom pada lapisan meningkat seiring dengan meningkatnya kuat arus pada proses pelapisan, hasil yang sama juga dapat dilihat dari tren meningkatnya intensitas *peak* krom pada hasil pengujian XRD. Begitu pula pada hasil pengujian SEM pada bagian *cross section* yang menunjukkan lapisan *hard chromium* yang menebal khususnya pada sampel dengan variasi kuat arus 0,8 Ampere. Sedangkan untuk komposisi nikel cenderung menurun, sebab proses pelapisan nikel tidak diberlakukan variasi kuat arus sehingga masa endapan nikel tetap namun fraksi masanya terhadap masa endapan krom pada permukaan substrat menurun.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. A. Kekerasan tertinggi tercapai pada variasi arus 0,8 Ampere dengan nilai kekerasan sebesar 522,03 VHN
 - B. Laju korosi terendah tercapai pada variasi arus 0,8 Amper dengan nilai laju korosi sebesar 0,012318 mma
 - C. Ketebalan lapisan *hard chromium* tercapai pada variasi arus 0,8 A dengan ketebalan rata-rata sebesar 57,467 μ m
2. Endapan krom dalam proses pelapisan *hard chromium* terjadi karena adanya arus listrik yang memicu reaksi elektrokimia pada katoda(substrat) berupa reaksi reduksi ion-ion krom dari larutan CrO_3 yang disertai dengan reaksi pembentukan gas hydrogen dan interstisi atom hidrogen kedalam kisi kristal krom yang membuat lapisan endapan krom menjadi keras, yang mana reaksi-reaksi dan interstisi tersebut meningkat kelajuannya seiring dengan meningkatnya kuat arus listrik yang diberikan

5.2 Saran

1. Larutan dikontrol, dengan cara mengganti larutan setiap muncul endapan pada larutan
2. Proses polishing sebelum melakukan pengujian dilakukan dengan grit yang sehalus mungkin, yaitu grit 2000
3. Pengeringan spesimen setelah elektroplating dilakukan dengan melakukan swab dengan tisu secara halus



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- ASM Metal Handbook Vol 5. Metallic and Inorganic Coating Annual Book of ASTM Standards Part-9**
- Bhusan, Bharat., B.K Ghupta. 1991. **Handbook of Tribology : Materials, Coating, and Surface Treatments**. New York McGraw Hill Publishing Company
- Chamberlain J., Trethewey K.R. 1991, **KOROSI (Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan)**. PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- Cimenoglu, Huseyin., Gurol Aldic. 2014. **An Investigation on the Mechanical Properties of the Hard Chromium Layer Deposited by Brush Plating Process on AISI H13 Steel**. Istanbul Technical University : Istanbul
- El-Giar , E., M., Said, R.A., Bridge, G.E., Thomson, D.J. 2000. **Localized Electrochemical Deposition of Copper Microstructure**. Journal of the Electrochemical Society.
- Fontana, M. G. (1987). **Corrosion Engineering Third Edition**. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Fuqron, Naufal Gati, Sulistijono. 2015. **Pengaruh Densitas Arus dan Waktu Kontak Efektif Elektrolit Gel terhadap Ketebalan dan Kekuatan Lekat Lapisan Krom pada Baja dengan Metode Elektroplating**. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Giovanardi, Roberto, Gianpaolo Orlando. 2011. **Chromium Electrodeposition from Cr(III) Aqueous Solutions**. University of Modena e Reggio Emilia, Department of Materials Engineering : Modena.
- Hartono, J. Anton, Tomijiro Kaneko. 1995. **Mengenal Pelapisan Logam (Elektroplating)**. Andi Offset, Jogjakarta.
- Irwanto. 2010. **Pengaruh Jarak Anoda-Katoda dan Pemerata Arus terhadap Ketebalan Lapisan dan Efisiensi Katoda pada Elektroplating Tembaga Asam untuk Baja Karbon Sedang**. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Jones, D. A..1992. **Principles and Prevention of Corrosion**. New York : Macmillan Publishing Company.

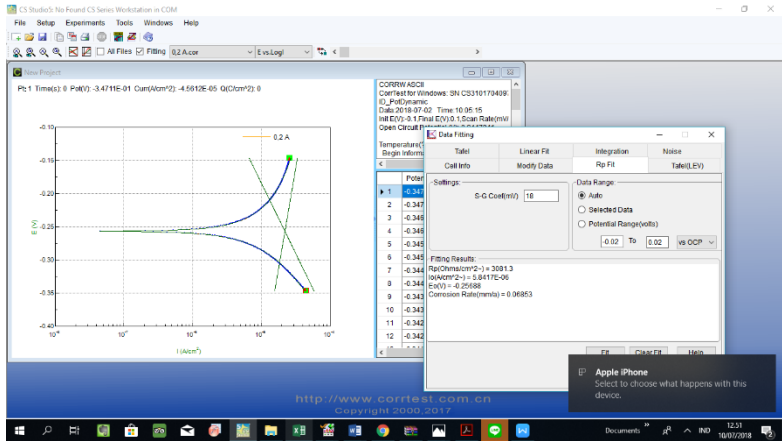
- Li, Jiazhu. 2017. **The Hardness and Corrosion Properties of Trivalent Chromium Hard Chromium**. Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences : Beijing
- Lou, H.H. and Huang, Y. 2006. **Electroplating In: Encyclopedia of Chemical Processing**. Taylor and Francis. New York.
- Malau, Victor. Noor Setyo. 2012. **Pengaruh Kuat Arus Pada Pelapisan Nickel Dan Nickel-Hard Chromium Plating Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis Permukaan Baja Aisi 410**. Universitas Gajah Mada : Yogyakarta.
- Mandich, Snyder. 2010. **Electrodeposition of Chromium – Modern Electroplating Fifth Edition**. John Wiley & Sons, Inc.
- Paridawati. 2013. **Analisa Besar Pengarus Tegangan Listrik Terhadap Ketebalan Pelapisan Chrome pada Plat Baja dengan Proses Elektroplating**. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin. Vol 1. No 1. Hal 36-44.
- Pierre R. Roberge.1999. **Handbook of Corrosion Engineering**. New York : McGraw-Hill Publishing Company.
- Purwanto, Syamsul Huda. 2005. **Teknologi Industri Elektroplating**. Badan Penerbit Universitas Diponegoro : Semarang.
- Saleh, Azhar A. . 2014. **Electroplating Teknik Pelapisan Logam Dengan Cara Listrik**. CV YRAMA WIDYA: Bandung
- Shreir, L., R.A Jarman., G.T Burstein. 1993. **Corrosion Volume 2 : Corrosion Control**. London : Butterworth-Heinemann Ltd.
- Silberberg, Martin, dkk. 2000. **Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change**. The McGraw-Hill Publishing Companies.
- Suarsana, I Ketut 2008. **Pengaruh Pelapisan Nikel pada Tembaga pada Krom Dekoratif terhadap Tingkat**
- Sunardi. 2013. **Pengaruh Shoot Peening dan Electroplating Ni-Cr Terhadap Kekasaran Permukaan, Kekerasan Dan Laju Korosi Dalam Media Cairan PBS Pada Stainless Steel 304**. Universitas Gajah Mada : Yogyakarta

- Suprpto, Wahyono. 1996. **Penentuan Variabel Pelapisan Krom Keras pada Cetakan Tempa**. Universitas Indonesia: Jakarta.
- Supriadi, Harnowo. 2010. **Studi Eksperimental Tentang Pengaruh Variasi Rapat Arus Pada Hard Chrome Electroplating Terhadap Karakteristik Permukaan Baja Karbon Rendah**. Universitas Lampung : Bandar Lampung
- Svenson, Eric. 2006. **DuraChrome Hard Chromium Plating Handbook**. Plating Resource Inc : Florida

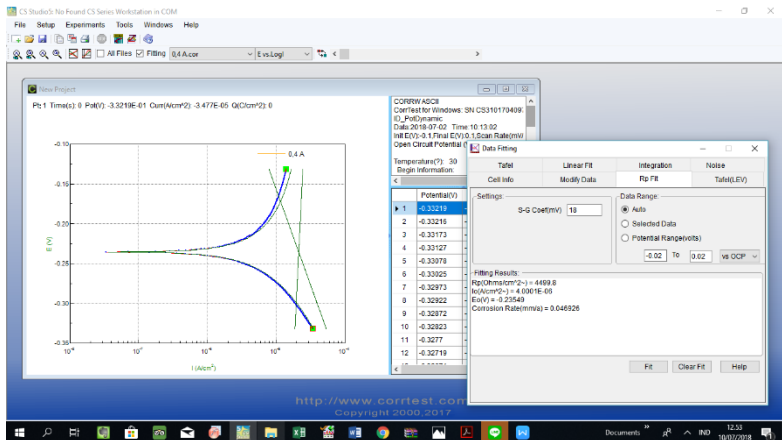
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

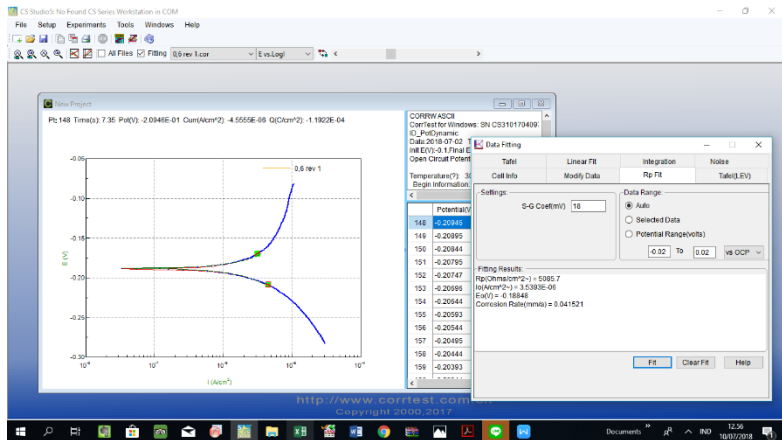
Lampiran Hasil Tafel



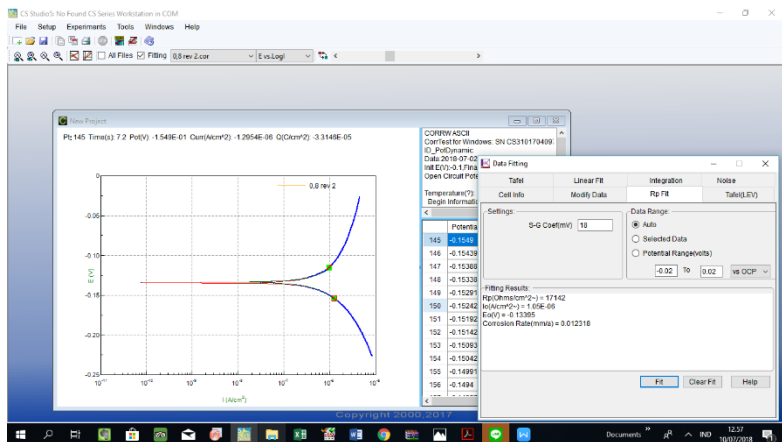
Gambar Hasil Uji Tafel Pada Variasi 0,2 A



Gambar Hasil Uji Tafel Pada Variasi 0,4 A



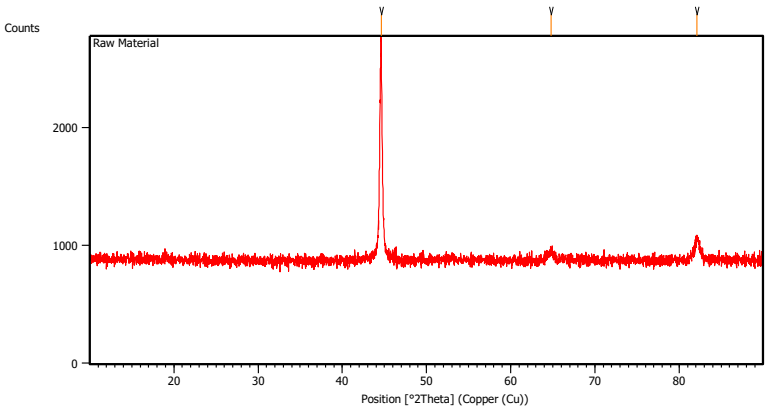
Gambar Hasil Uji Tafel Pada Variasi 0,6 A



Gambar Hasil Uji Tafel Pada Variasi 0,8 A

Lampiran Pengujian XRD

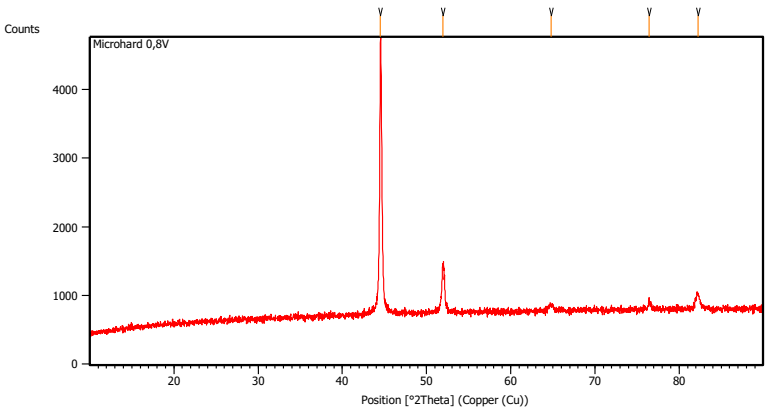
Hasil Pengujian Raw Material



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
44.6087	1890.91	0.2007	2.03131	100.00
64.8080	89.23	0.5353	1.43862	4.72
82.1011	179.28	0.4015	1.17391	9.48

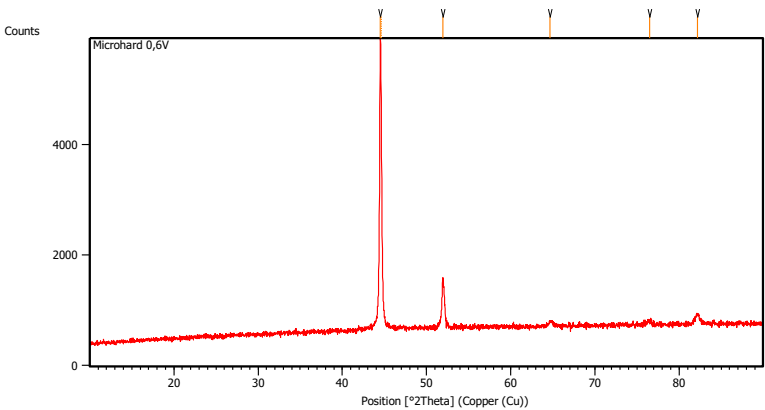
Hasil Pengujian Variasi 0,2 A



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
44.5274	3857.98	0.1338	2.03483	100.00
51.9370	684.80	0.2676	1.76063	17.75
64.8056	87.35	0.4015	1.43867	2.26
76.4533	126.46	0.4015	1.24591	3.28
82.2202	225.12	0.4015	1.17251	5.84

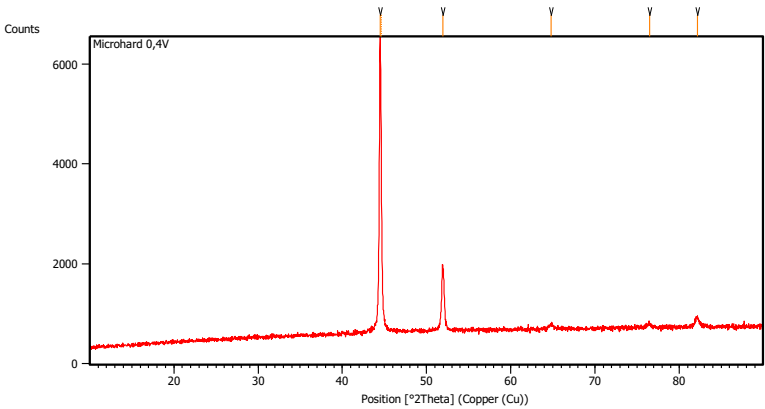
Hasil Pengujian Variasi 0,4 A



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
44.5090	5009.65	0.1632	2.03395	100.00
44.6294	4041.82	0.0816	2.03378	80.68
51.9350	889.63	0.1020	1.75923	17.76
64.6834	80.57	0.4896	1.43990	1.61
76.5020	61.44	0.8160	1.24421	1.23
82.1881	168.49	0.4080	1.17192	3.36

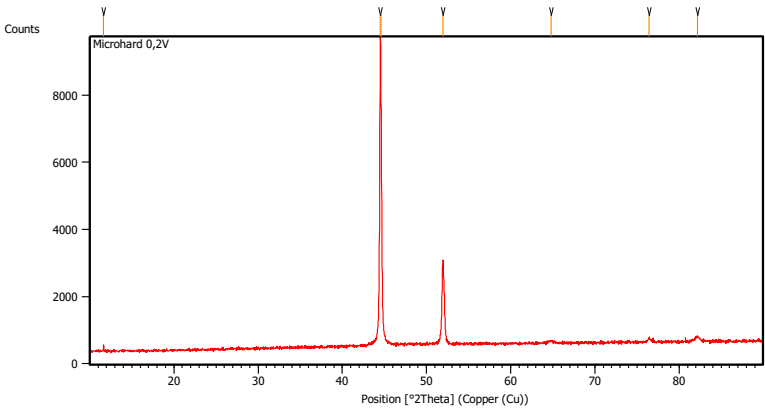
Hasil Pengujian Variasi 0,6 A



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
44.4818	5769.72	0.1836	2.03513	100.00
44.6099	4289.47	0.0816	2.03462	74.34
51.9176	1320.79	0.2040	1.75978	22.89
64.8298	109.11	0.2448	1.43700	1.89
76.4757	70.56	0.4896	1.24457	1.22
82.1500	195.30	0.4080	1.17237	3.38

Hasil Pengujian XRD Variasi 0,8 A



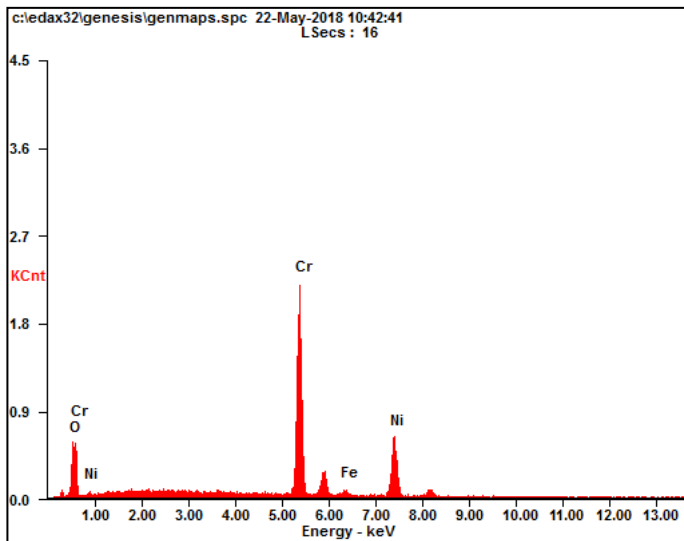
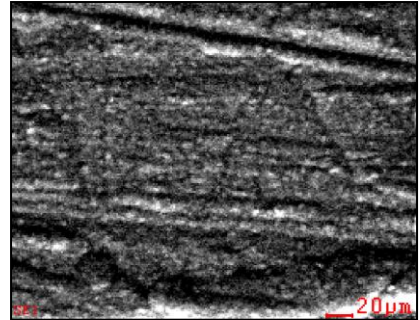
Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
11.6497	212.60	0.0669	7.59638	2.32
44.5163	9149.64	0.1224	2.03363	100.00
44.6412	6357.26	0.0816	2.03327	69.48
51.9451	2442.76	0.1836	1.75891	26.70
64.7999	69.76	0.4896	1.43759	0.76
76.4169	116.52	0.3264	1.24538	1.27
82.1677	138.06	0.6528	1.17216	1.51

LAMPIRAN SEM EDX

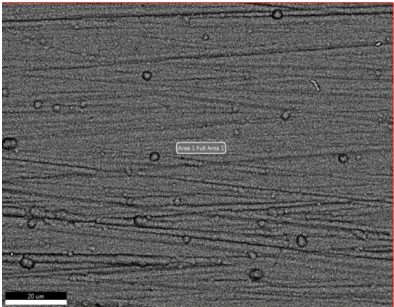
Hasil SEM EDX Variasi 0,2 A

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>OK</i>	02.67	08.56
<i>CrK</i>	56.61	55.79
<i>FeK</i>	02.43	02.23
<i>NiK</i>	38.29	33.42
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF



Hasil SEM-EDX Variasi 0,4 A

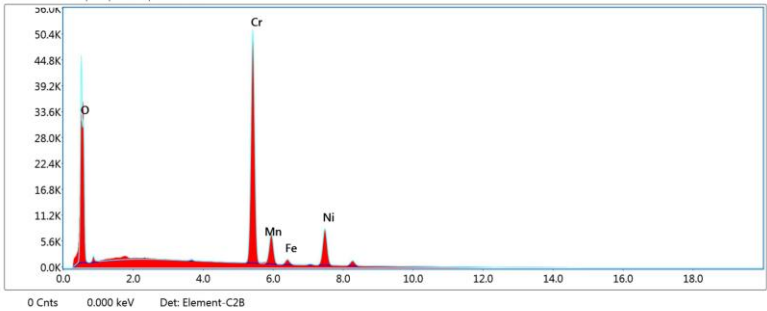
Area 1



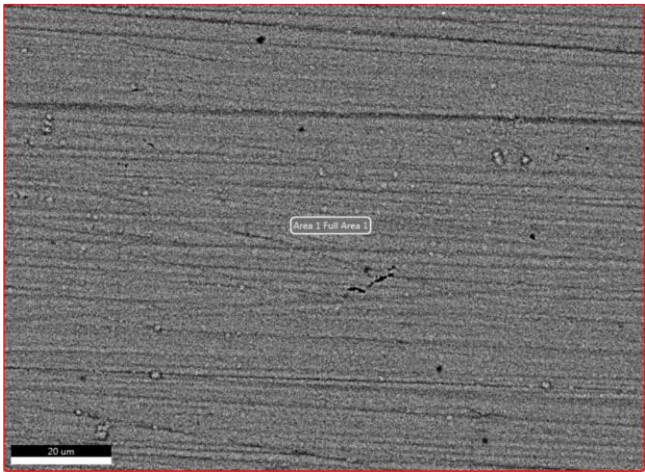
Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Error %
O K	4.16	12.74	5.95
CrK	65.3	61.56	2.18
MnK	1.92	1.71	5.87
FeK	2.32	2.03	5.95
NiK	26.3	21.96	3.5

09072018 Kevin | 0.4 | Area 1 | Full Area 1

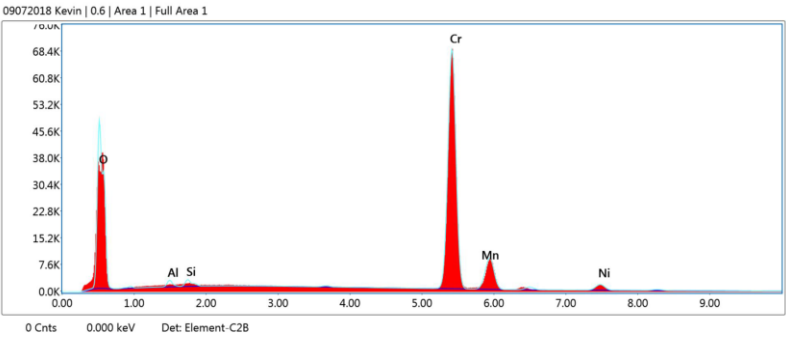


Hasil SEM EDX Variasi 0,6 A

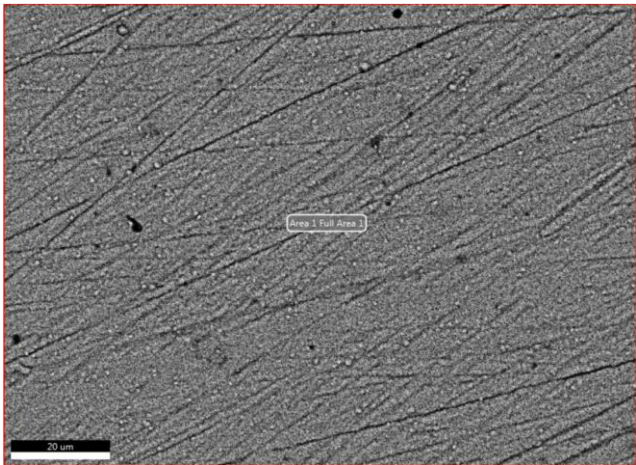


Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
O K	4.15	12.31	640.52	5.41	0.0329	1.2786	0.6196	1.0000
AlK	0.60	1.06	70.19	8.28	0.0033	1.1373	0.4846	1.0022
SiK	0.53	0.89	77.28	6.95	0.0038	1.1624	0.6103	1.0037
CrK	85.75	78.28	4549.17	2.04	0.8481	0.9850	0.9995	1.0046
MnK	3.76	3.25	164.11	3.50	0.0361	0.9640	0.9893	1.0067
NIK	5.21	4.21	125.85	4.92	0.0489	0.9869	0.9411	1.0108

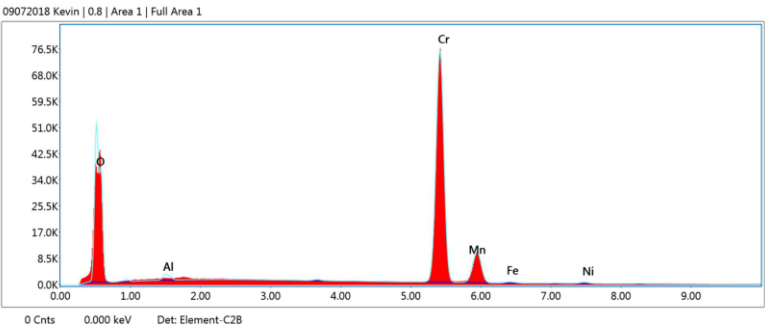


Hasil SEM EDX Variasi 0,8 A



Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
O K	4.02	11.95	662.83	5.27	0.0326	1.2805	0.6333	1.0000
AlK	0.63	1.10	76.76	7.76	0.0035	1.1390	0.4889	1.0022
CrK	90.78	83.07	5036.71	2.03	0.8978	0.9864	1.0002	1.0024
MnK	2.53	2.19	115.30	5.36	0.0242	0.9653	0.9891	1.0035
FeK	0.74	0.63	26.02	11.24	0.0065	0.9802	0.8959	1.0061
NiK	1.31	1.06	32.95	9.32	0.0122	0.9882	0.9379	1.0114



Tabel Nilai Kekerasan Lapisan

Variasi (Ampere)	Hardness (VHN)			Average Hardness (VHN)
0 Ampere	334,5	369	361,1	354,87
0,2 Ampere	393,5	378,9	370,9	381,10
0,4 Ampere	416,1	418,9	405	413,33
0,6 Ampere	452,8	425,2	429,1	435,70
0,8 Ampere	622,7	502,6	440,8	522,03

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Kevin Bimariga, lahir di Bekasi pada tanggal 18 Desember 1996. Penulis menempuh pendidikan dasar di SD Santa Maria Monica, Bekasi. Kemudian melanjutkan ke jenjang menengah pertama di SMP YADIKA 8 Jatimulya. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikannya ke jenjang menengah atas di SMA YADIKA 8 Jatimulya. Lalu penulis melanjutkan pendidikan tingginya ke perguruan tinggi negeri yaitu di Departemen Teknik Material FTI-ITS.

Selama menempuh perkuliahan penulis sudah mengikuti beberapa pelatihan, seperti Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa Pra-Tingkat Dasar atau LKMM Pra-TD, Pelatihan Karya Tulis Ilmiah dan Pelatihan Jurnalistik Tingkat Dasar. Selain itu, penulis juga menjadi staff Departemen Pengabdian Masyarakat di Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi pada tahun kedua dan menjadi Ketua Pelaksana HMMT Mengajar, juga menjadi SC FTI Mengajar. Penulis sempat melakukan kerja praktek di PT PAL Indonesia. Tugas akhir yang diambil penulis yaitu adalah bidang Korosi dan Kegagalan Material dengan judul “Pengaruh Variasi Kuat Arus Terhadap Ketebalan, Kekerasan dan Ketahanan Korosi Hasil Elektroplating Nikel-*Hard Chromium* pada Baja AISI 4340”.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)